

67812



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PNÖMATİK SİSTEMLERİN
HASSAS TAŞIMADA KULLANIMI
VE SİSTEM DİZAYNI**

Mak.Müh. Tunç KÜÇÜKBERBER

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Makinaları Bilim Dalında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Y.Doç.Dr. Recep ÖZTÜRK

İSTANBUL, 1997

Prof. Bilgin Küçük Karanikli

Prof. M. ALİ ŞERİF

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
İÇİNDEKİLER	I
SEMBOL LİSTESİ	III
ŞEKİL LİSTESİ	VI
TABLO LİSTESİ	VIII
TEŞEKKÜR	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	XI
1. GİRİŞ	1
2. PNÖMATİK TAŞIMA SİSTEMLERİ	3
2.1. Pnömatik Taşıma Sistemlerinin Genel Tanımı	3
2.2. Katı Malzemelerin Pnömatik Taşınmasının Avantaj ve Dezavantajları	3
3. AKIŞKAN MEKANİZMASININ İNCELENMESİ	6
3.1 Yatay Borularda Gaz-Katı Akışına Örnekler	6
3.2. Kesik Fazlı Akış Sistemleri	8
3.2.1. Kesik Fazlı Gaz-Katı Karışımlarının Yatay Taşınması	8
3.2.2. Kesik Fazlı Taşımada Parçacıklara Etkiyen Kuvvetler ve Basınç Düşmesi	11
3.2.3. Kesik Fazlı Gaz-Katı Karışımlarının Düşey Taşınması	17
3.2.4. Kesik Fazlı Gaz-Katı Akışında Sürüklenme Azalması	17
3.3. Yoğun Fazlı Akış Sistemleri	18
3.3.1. Yatay Borularda Sürüklenme Hızı	18
3.3.2. Yoğun Fazlı Yatay Taşımada Basınç Düşmesi	19
3.3.3. Düşey Taşımada Tıkanma Hızı	21
4. PNÖMATİK TAŞIMA SİSTEMLERİ DİZAYN VE UYGULAMALARI	23
4.1. Taşıma Sisteminin Seçimi	23
4.1.1. Negatif Basıncılı (Vakumlu) Sistemler	24

4.1.2. Pozitif Basıncılı Sistemler	25
4.1.3. Pozitif ve Negatif Basıncılı Sistemlerin Özel Kombinasyonları	29
4.1.4. Gaz İçinde Yüzen Parçacıkların Ağırlık Etkisiyle Hareketi	32
4.2. Teçhizatın Elemanları	32
4.2.1. Malzeme Besleme Sistemleri	33
4.2.2. Boru Hatları, Valfler, Debimetreler	35
4.2.3. Separatörler	37
4.3. Endüstriyel Uygulamalar	25
5. HASSAS PNÖMATİK TAŞIMA SİSTEMLERİ	39
5.1. Sistemin Genel Tanımı	39
5.2. Örnek Sistemin İncelenmesi	39
5.2.1. Tanıtım	39
5.2.2. İşletme Prensipleri	39
5.2.3. Hesaplamalar	67
SONUÇLAR	68
KAYNAKLAR	69
EKLER	70
ÖZGEÇMİŞ	

SEMBOL LİSTESİ

a'	: Malzeme parçacıklarının boyutu
B	: Malzemeye bağlı bir katsayı
C_{ds}	: Tek bir taneciğe ait sürüklenme katsayısı
C_{dst}	: Tek bir parçacık için serbest düşme direnç katsayısı
D	: Boru çapı
dF_d	: dL kesitinde mevcut tüm parçacıklara etkiyen sürüklenme kuvveti
dF_f	: Parçacıkların boru cidarları arasındaki sürtünme kuvveti
dF_g	: Parçacıklara etkiyen gravitasyonel kuvvet
d_n	: dt boru uzunluğundaki parçacık sayısı
d_p	: Katı parçacık çapı
dW_s	: dL boru uzunluğundaki katıların ağırlığı
F_{ds}	: Tek bir taneciğe etki eden sürüklenme kuvveti
g	: Yerçekimi ivmesi
G_s	: Katı parçacıklara ait akış debisi (ağırlıkça)
H	: Malzemenin kaldırılacağı düşey yükseklik
K	: Parçacığın biçimine, boyutlarına ve yüzey durumuna bağlı katsayı
L_A	: Hızlanma mesafesi
L_{ind}	: İndirgenmiş taşıma uzunluğu
m	: Gaz-Katı oranı
N_k	: Körüğün gücü
N_t	: Körüğün teorik gücü
$P_ç$	: Çıkıştaki hava mutlak basıncı
P_g	: Girişteki hava mutlak basıncı
P_k	: Körükteki basınç değeri
P_m	: Düşey boruda malzeme ağırlığının sebep olduğu basınç düşmesi
P_o	: Atmosfer basıncı

P_w	: Çalışma basıncı
S	: Eğrinin belli bir noktadaki teğetinin eğimi
u_{ch}	: Düşey taşınmada tıkanma hızı
u_f	: Akışkanın hızı
u_p	: Katı parçacığın hızı
u_p'	: Farklı boyutlu parçacıklar için sürüklenme hızı
u_s	: Aynı boyutlu parçacıklar için sürüklenme hızı
u_t	: dL mesafesindeki parçacıkların serbest düşme sınır hızı
u_{ts}	: Tek bir parçacık için serbest düşme sınır hızı
V_{hava}	: Havanın hacımsal debisi
V_o	: Kompresörün hacımsal hava debisi
V_{su}	: Suyu ait hacımsal debi
W_{ch}	: Düşey taşımada birim uzunluktaki katıların ağırlığı
α	: Malzeme parçacıklarının boyutuna bağlı bir katsayı
α'	: Kompresör kaçaklarını gözönüne alan bir katsayı
ε	: Gaz-Katı karışımında boşluk oranı
ε_{ch}	: Kritik boşluk oranı
γ_h	: Havanın özgül ağırlığı
γ_p	: Malzeme parçacıklarının özgül ağırlığı
η	: Toplam kompresör verimi
λ	: Parçacıklarla boru cidarları arasındaki sürtünme katsayısı
λ_k	: Temiz havanın harekete karşı direnç katsayısı
λ_s	: Hidrolik kayıp katsayısı
μ	: Gaz-Katı karışımının konsantrasyonu
μ_f	: Akışkan mutlak viskozitesi
ρ_b	: Yığınsal özgül kütle
ρ_{ds}	: Dağıtılmış katıların özgül kütlesi

- ρ_f : Akışkanın özgül kütlesi
 ρ_s : Katının özgül kütlesi
 ΔP_a : Hızdan dolayı teşekkül eden basınç düşmesi
 ΔP_d : Sürüklenme kuvvetinden teşekkül eden basınç düşmesi
 ΔP_f : Boru cidarındaki sürtünmenin yol açtığı basınç düşmesi
 ΔP_t : Toplam basınç düşmesi



SEKİL LİSTESİ

	Sayfa No	
Şekil.3.1	Çeşitli Akış Örnekleri	6
Şekil.3.2	Yatay Taşımada Akış Karakteristikleri	8
Şekil.3.3	Buğday İçin Basınç Düşmesi	9
Şekil.3.4	Kömür Tozu İçin Basınç Düşmesi	10
Şekil.3.5	Yoğun Fazlı Akış İçin Sürüklenme Hızı Korelasyonu	19
Şekil.3.6	Düşey Taşımada Akış Karakteristikleri	22
Şekil.4.1	Şematik Olarak Negatif Basıncılı Taşıma Sistemi	26
Şekil.4.2	Şematik Olarak Pozitif Basıncılı Taşıma Sistemi	27
Şekil.4.3	Şematik Olarak Kapalı Devre Taşıma Sistemi	30
Şekil.4.4	Şematik Olarak Pozitif-Negatif Basınç Sistemleri	31
Şekil.5.1	Süpermarketlerde Kullanılan Hassas Pnömatik Taşıma Sistemi	40
Şekil.5.2	Bürolarda Kullanılan Hassas Pnömatik Taşıma Sistemi	41
Şekil.5.3	Bankalarda Kullanılan Hassas Pnömatik Taşıma Sistemi	42
Şekil.5.4	Bankalarda Kullanılan Hassas Pnömatik Taşıma Sistemi	43
Şekil.5.5	Hastanelerde Kullanılan Hassas Pnömatik Taşıma Sistemi	44
Şekil.5.6	Sistem Kontrol Ünitesi	47
Şekil.5.7	Sistem Kablosu	48
Şekil.5.8	İstasyon	50
Şekil.5.9	İstasyon Boyutları	51
Şekil.5.10	İstasyon Boyutları	52
Şekil.5.11	İstasyon Hazne Pozisyonları	53
Şekil.5.12	Manuel İstasyon	54
Şekil.5.13	3 Yollu Yön Değiştirici	56
Şekil.5.14	3 Yollu Yön Değiştirici Boyutları	57
Şekil.5.15	6 Yollu Yön Değiştirici	58
Şekil.5.16	6 Yollu Yön Değiştirici Boyutları	59

Şekil.5.17	Çok Pozisyonlu Valf	60
Şekil.5.18	Üfleyici,Çok Pozisyonlu Valf ve Susturucu	61
Şekil.5.19	Üfleyici ile İlgili Teknik Bilgiler	62
Şekil.5.20	Üfleyici Boyutları	63
Şekil.5.21	Çok Pozisyonlu Valf Boyutları	64
Şekil.5.22	Frenleme Sistemi	65
Şekil.5.23	Taşıyıcı	67



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. N_{Re} 'nin Bir Fonksiyonu Olarak C_{ds} Değerleri	12
Tablo 3.2. Katıların Sürtünme Katsayı Değerleri	15

TEŞEKKÜR

‘ Pnömatik Sistemlerin Hassas Taşımada Kullanımı ve Sistem Dizaynı ’ konulu bu çalışmayı yaparken;

Her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan anneme, ablama ve diğer aile fertlerime yardım ve desteklerinden dolayı Y.Doç.Dr. Recep Öztürk’e, döküman sağlama konusunda her türlü yardımda bulunan ILPA S.A. ve TELECOM B.V.B.A. yetkililerine ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkür ederim.



ÖZET

İnsanın havayı maddeleri taşımak amacıyla ilk kez ne zaman kullandığı konusunda kesin bir bilgiye sahip olmamamıza rağmen bu kadar yararlı bir buluşun insan hayatına getirdiği kolaylıklardan bahsedebiliriz.

O günden bu güne teknoloji hızla gelişmiş, yeni fabrikalarda ileri teknolojilerle çok iyi sistemler üretilmiştir. Bugün pnömatik taşıma sistemlerinin kurulma ve kontrol edilmeleri gelişmiş ülkelerde giderek önem kazanmakta ve ayrı bir mühendislik alanı olarak düşünülmektedir.

Bu çalışmada geçerli ve işlerliği bulunan sistemler ele alınmıştır. Pnömatik taşıma sistemlerinin kurulmaları ve kontrol edilmeleriyle ilgili detaylar incelenmiştir. Sistemlerin avantaj ve deavantajları, yapıları ve çalışma prensipleri karşılaştırılmış ve aşağıdaki başlıklar altında açıklanmıştır;

- Pnömatik Taşıma Sistemleri
- Akış Mekanizmasının İncelenmesi
- Pnömatik Taşıma Sistemleri Dizayn ve Uygulamaları
- Hassas Pnömatik Taşıma Sistemleri

ABSTRACT

Although We don't have a certain information about when the air was first used by human being for transporting, it is obvious that it would be provided various advantages by so useful invention.

Up to this date, new factories providing new production methods and good systems serving human being. Now, installation and controlling of pneumatic transport systems are getting importance in developed countries and it is considered to be separate engineering field.

In this presentation, valid and functioning systems are taken into consideration. Details of installation and controlling are examined. Advantages and disadvantages, structures, functioning principle of the systems are compared and stated according to the following outline;

- Pneumatic Transport Systems
- Theory of Flow Mechanism
- Pneumatic Transport System Design and Applications
- Sensitive Pneumatic Transport Systems

1) GİRİŞ

Geçmişte parçacıklı malzemelerin bir yerden başka bir yere naklinde tasarım ve konstrüksiyon , daha sonrada imal edilen donanımın işletilmesi sıkıntı kaynağı oluyordu. Gazlar ve sıvıların oldukça kolay şekilde iki nokta arasında akabilmesine karşılık benzer şekilde parçacıklı katı malzemelerin yeterli itme ve moment verildiği halde taşınmasında güçlükler mevcuttu. Bunun nedeni ise bu tür malzemelerin atalet kuvvetlerini yenebilmek ve akışkanlık kazanmakla ilgili kaabiliyetlerinin yetersiz oluşuydu.

İnsanoğlu daima katı malzemelerin taşınması için rüzgarın kendisini fırtına ve tufanlarla kanıtlamış taşıma kaabiliyetinden yararlanmayı düşünmüştür.

Yüzyıllar boyunca insanlar bu güçten yelkenli gemilerin hareket ettirilmesinde ve yeldeğirmenlerinin döndürülmesinde yararlanmıştır.

1900 'lü yıllardan önce ilkel sistemlerle oluşturulan bazı ticari dizaynlarda yüksek hızlı hava akımından yararlanarak parçacıklı katıların pnömatik yolla taşınması gerçekleştirilmiştir. Bunu ilk defa 1866 yılında İngiliz mühendis Sturtavant başardı. İmal ettiği sistemde önce öğütülmüş tozların daha sonra da hafif maddelerin taşınması yapılmıştır. Bu tür sistemlerde ilk taşınan malzemeler kağıt kırıntıları, bıçkı tozu, pamuk yünü gibi aşındırıcı olmayan ve vantilatör pervaneleri arasından geçebilen türdendi. 1901 yılında Dodge kalın kalorifer peteği dilimlerini dökümhanenin bir ucundan diğerine ileterek pnömatik taşımanın eşsiz bir uygulamasını yaptı.

İlk uygulamalar bir toz fırtınasına benzerdi ve bu sistemler bugünün standartlarına göre çok düşük verimle çalışmaktaydılar. Bununla beraber dizayn edildikleri endüstriyel problemlerin o günkü şartlarda çözülmesi bakımından oldukça başarılı idiler.

Son yarım yüzyıl içinde pnömatik taşıma sistemleri tasarım ilmi çok gelişerek büyük ilgi ve kabul görme durumuna erişti. Başlangıçta basit fakat iyi tasarlanmış sistemlerle pek çok malzemenin pnömatik taşımanın avantajlarından faydalanarak nakli mümkün olmuştur. Zamanla pnömatik taşıma sistemlerini mükemmelleştiren pekçok faydalı özel donanımın geliştirilmesiyle uygulama sahaları genişlemiştir. Bu faydalı gelişmelerden önemli bir tanesi Fuller-Kinyon akışkan-katı malzeme pompasıydı. İkinci

Dünya Savaşından sonra büyük yapı projelerinde yüksek miktarlarda toz çimento ihtiyacı, (Birleşik Amerika’ da büyük hidroelektrik santralleri ve sayısız diğer endüstriyel tesisler gibi), tahılların, maden cevherlerinin, kömürün, plastik tanelerin, katalizörlerin, kilin, metal tozlarının, alüminyumun ve pek çok kimyasal katı malzemenin gemilerden demiryolu vagonlarına ve kamyonlara bunlardan da çeşitli silo ve kullanım mahallerine emniyetli ve temiz bir şekilde nakli için yaygın olarak pnömatik taşıma tesisleri kullanıldı.



2) PNÖMATİK TAŞIMA SİSTEMLERİ

2.1) PNÖMATİK TAŞIMA SİSTEMLERİNİN GENEL TANIMI

Pnömatik taşıma sistemlerinin amacı parçacıklı katı malzemelerin bir yerden başka bir yere örneğin, kamyon kasasından depolara bunlardanda kullanım sahasına götürülmesidir. pnömatik taşıyıcıların basınçlı sistemler ve vakumlu sistemler olmak üzere iki ana sınıfı mevcuttur. Genellikle vakum sistemlerindeki gaz itici son malzeme birikme (alma) haznesinin arkasına yerleştirilmiştir. Basınçlı sistemlerde ise hava üfleyici, katı malzemeyi besleme donanımının önüne yerleştirilmiştir. Bu iki sistemin avantaj ve dezavantajları uygulama sahaları, birbiri yerine kullanılabilirlikleri bu bölümün sonunda tartışılmıştır.

Gaz iticilere ilave olarak donanımın diğer önemli elemanları; katı malzeme besleme cihazları, borular, vanalar, silolar, malzeme ayırıcı ve toz tutucularıdır. Besleme (yükleme) sistemi sürekli ve üniform olarak katı malzeme parçacıklarını gaz akımına enjekte etmeli yani içine atmalıdır. Taşıma yolları, kısmen veya tamamen oluşan akış tıkanmalarına (blokaja) yol açacak akışı engelleyici ve bozucu bölgelere sahip olmamalıdır. Malzeme ayırıcılar (kollektörler) malzemeyi gazdan mümkün olan en yüksek verimle ayırmalıdır. Eğer taşımada kullanılan hava çevreye boşalıyorsa endüstriyel sağlık birimi ve hava kirlenmesi kontrolü örgütleri bu toplayıcılarda verimin % 99' dan büyük olmasını isterler. İşlemlerin ve diğer donanımın seçiminde etkisi olan detaylar ve önemli noktalar bu bölümün sonunda verilmiştir.

2.2) KATI MALZEMELERİN PNÖMATİK TAŞINMASININ AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Pnömatik taşımanın avantajları ve dezavantajlarının tartışılmasından önce bu metodun diğer alternatif klasik metodlar olan bantlı ve helezon konveyörlerle karşılaştırması yapılmalıdır.

Endüstriyel tesislerde sürekli ve kitlesel üretimde pnömatik taşıma büyük avantajlara sahiptir. Bazı hallerde küçük tanecikli katıların, pudra halindeki malzemelerin

biçimde tamamen kapalı ve sızdırmaz olarak dizayn edilebilirler. Böylece hem üretimin hemde çevrenin kirletilmesi minimumda tutulabilir. Toz kontrolünde problem yaratan noktalar besleyici girişi ve malzemeyi havadan ayırma bölgesidir. Bununla beraber dikkatli dizaynlarla bu problem çözülebilir.

Geçmişte pnömatik taşıma sistemleri alternatif sistemlerden daha çok enerji harcamak gibi bir dezavantaja sahipti. Ancak günümüzde pnömatik taşıma olayının mekanizmasının daha iyi anlaşılması ile enerji masrafları önemli ölçüde azalmıştır. Bugün pnömatik sistemlerin yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu işletme maliyetlerinin düşük oluşuyla caziptir. Gaza gerekli hareketi verecek vantilatör, kompresör ve diğer sistemlerin çeşidinin seçimi malzemenin özellikleriyle ilgilidir. Pnömatik taşıma olayında katı malzemenin kuruluk durumu ve serbest akış kaabiliyeti önemli rol oynar. Dizaynda önemli olan özellikler, sistemin enerji tüketimi, malzemenin fiziksel özellikleri, yığın halindeki malzemenin özgül ağırlığı, parçacıkların boyutu ve büyüklük dağılımı, taneciklerin sertliği, yığılma açısı, aşındırma etkisi, dağılma kaabiliyetidir. Diğer avantajlar şunlardır : Hareketli parçaların olmayışı tamir ve bakım masraflarını azaltır. Daha az işletme personeline ihtiyaç vardır. Sürekli ve sessiz bir çalışma imkanı vardır. Çuval, torba, fiç gibi şeyler ortadan kalkar.

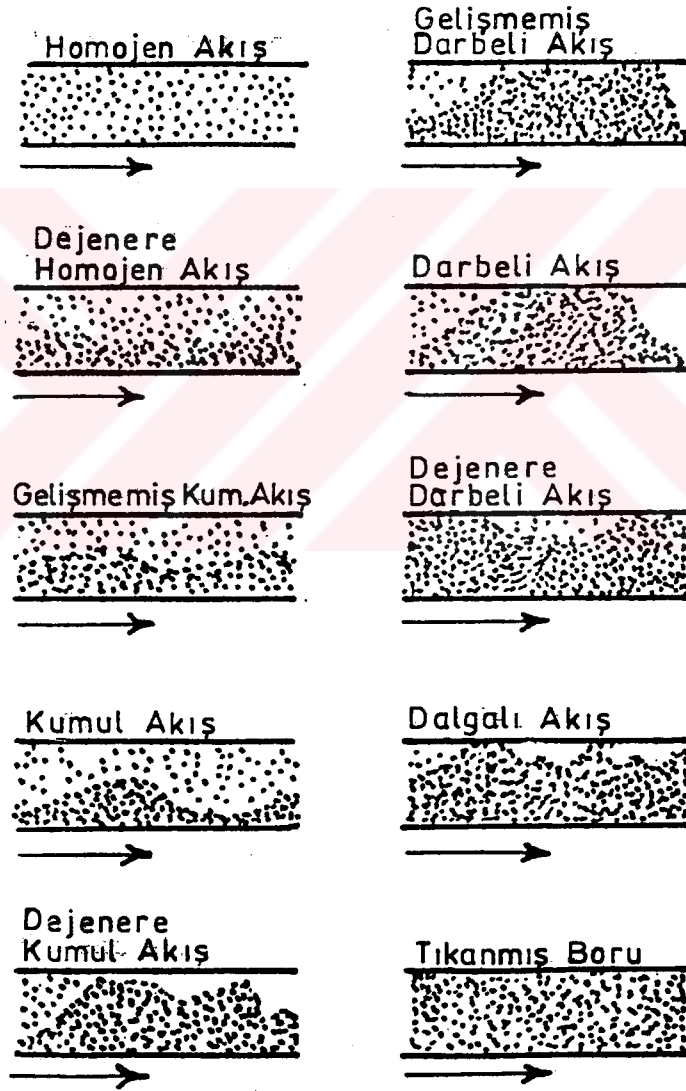
Genelde kolay kırılabilen ve ufalanabilen malzeme son üründe parçacık büyüklüğü önemli ise pnömatik taşımaya uygun değildir. Su tutan (hidroskopik) ve yapışan, kümelenen malzemeler özel donanımların kullanılmasıyla pnömatik yolla taşınabilir. Elbetteki kolayca okside olan malzemeler için hava yerine başka bir gaz kullanılmalıdır. Bu tür sistemlerle taşımada kullanılan gazın bir dönüş sistemi vasıtasıyla yeniden kullanılması gerekir. katı parçacıkların çok fazla aşındırıcı olması halinde taşıma sisteminin ve yardımcı donanımın malzemesinin özel olarak seçilmesi gerekir. Bugün her türlü malzemeyi taşıyan genel bir taşıma sistemi yoktur. Bir başka olumsuz nokta boru çapının 1/3' ünden büyük parçaların taşınamamasıdır. Yoğunluğu yüksek malzemeler için yüksek hava hızlarının gerekmesi ve dolayısıyla aşınmaların artması bir başka olumsuz noktadır.

Günümüzde pnömatik taşıma uygulamaları genellikle 3000m' den kısa mesafelerde uygulanır. Uzun taşıma hatlarında hattın içinde ek istasyonlara ihtiyaç vardır.

3) AKIŞ MEKANİZMASININ İNCELENMESİ

3.1) YATAY BORULARDA GAZ-KATI AKIŞINA ÖRNEKLER

Cam borularda malzeme hareketinin gözlenerek incelenmesinin sonucunda akış olayının oldukça kompleks olduğu ve pek çok faktörden etkilendiği izlenmiştir. Bu faktörler; katı-gaz oranı, akışın Reynolds Sayısı ve malzemenin özel nitelikleridir. Çeşitli akış şekilleri ŞEKİL 3.1' de gösterilmiştir.

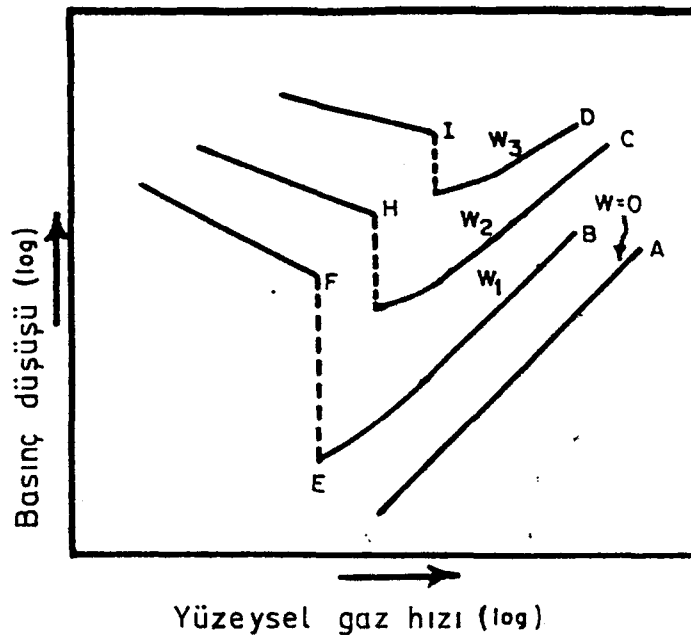


ŞEKİL 3.1 Çeşitli Akış Örnekleri (MARCHELLO, J.M, 1976)

Çok düşük katı-gaz oranları halinde katı parçacıkları boru içinde oldukça üniform dağılmıştır. Bu akışa HOMOJEN AKIŞ ismi verilir. Radyal ve aksiyal doğrultularda yoğunluk farkının az oluşu ve taneciklerin kümelenmemiş olmasıyla karakterize olur. Gözlemlerde görülmüştür ki parçacıklardan bazıları hareket sırasında boru çeperleri arasında sıçrar. Katı-gaz oranının çoğalması katı parçacıklarının durma ve diğer taneler üzerinde kayma eğilimini artırır. Belli bir hız sınırına erişmesi halinde parçacıklar alternatif bir hızlanma ve yavaşlama altında meydana gelen yığınların birinden ötekine hareket eder. Katı-gaz oranında bundan sonra meydana gelen artışlar Darbeli Akış denilen gaz ve katının alternatif olarak yer aldığı gelişmemiş bir akış halidir. Yüksek bir gaz katı oranı, katıların boru içindeki hacmin bir kısmını işgal etmesine rol açar. Böyle fazla yükleme durumunda gaz ve katı parçacıkları boru içinde hareket eden katı yığınları şeklinde ilerler (çöldeki kum tepeleri gibi). Bu dalgalı akış bölgesinde yükleme oranı 1kg. gaz başına 400kg. malzemeye kadar yükselebilir. Genellikle yüksek yükleme oranlarında akış kararsızdır. Büyük ve düzensiz basınç değişimi mevcuttur.

Basınç düşmesiyle ilgili hususlar araştırmalarla ortaya konmuştur ve akış şartlarıyla ilgili sınır bölgelerde tedbir alınması gerekir. Belli bir akıştan bir başka türlü akışa geçiş dikkatli bir akış analizi yapılmadan gerçekleştirilmemelidir.

Bu nokta şematik olarak çok açık bir şekilde ŞEKİL 3.2' de gösterilmiştir. Burada yatay boruda uzunluk başına olan basınç düşmesi ortalama gaz hızının değişmesine bağlı olarak verilmiştir. Sisteme yüklenen malzemenin birim uzunluktaki ağırlığını ifade eder. A çizgisi boruda yalnız gazın alması için basınç düşmesi halini verir. Yüklenen katı miktarı arttıkça sabit W eğrilerine tekabül eden basınç düşmesi B,C ve D eğrilerinde görüldüğü gibi artar. Eğer gaz hızı azaltılırsa B eğrisinin E noktasına kadar bir basınç düşmesi azalması görülür ki bu nokta malzemenin boruda biriktiği anı temsil eder. Biriken bu malzeme zamanla boru kesit alanının belli bir nispetini işgal etmeye başlar. Bu ise akışın engellenmesine yol açar ve basınç düşmesi hızla artarak F noktasındaki değere ulaşır. Bu nokta tıkalı kesit alanının akışın devam ettiği kesit alanına eşit olduğu hali ifade eder. Gazın aktığı kesitin daha fazla azalması basınç düşmesinin dahada artmasına yol açar. F,H,I noktaları gaz-katı oranı için bir üst sınır teşkil eder. Bu noktadaki hıza doyma hızı denir ve katı-gaz oranının veya gaza yüklenmiş katı miktarının fonksiyonudur.



ŞEKİL 3.2 Yatay Taşımada Akış Karakteristikleri (MARCHELLO, J.M, 1976)

3.2) KESİK FAZLI AKIŞ SİSTEMLERİ

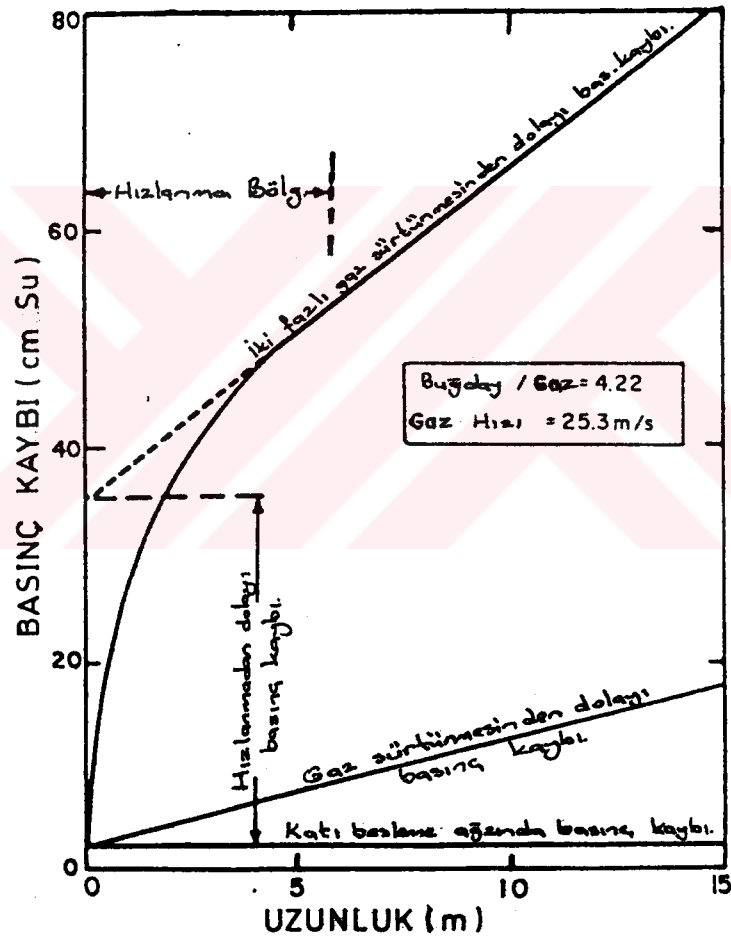
3.2.1) Kesik Fazlı Katı-Gaz Karışımlarının Yatay Taşınması

Pnömatik taşıma sistemlerinin dizaynında akış rejimlerinin teşhis edilmesi çok önemli bir noktayı teşkil eder.

Gaz-katı karışımlarının önceki bölümde açıklanmış bulunan akış rejimlerine tabi oluşları farklılık gösterir. Bu bölümde basit akış rejimi diyebileceğimiz homojen akış detaylı olarak açıklanmıştır. Homojen akış radyal ve eksenel doğrultulardaki yoğunluk farkları küçük olan ve borunun dibinde yığılmaların, kümelenmelerin görülmediği bir akış olarak tanımlanmıştı. Bu akış sisteminde akışkana asılı parçacıkların türbülans hareketleri (düzensiz bir hareket biçimi) gravitasyonel (ağırlık) etkisini dengeler. Homojen akışın yüksek Reynolds sayılarında ortaya çıktığı söylenebilir. Bu incelemelerde özet olarak aşağıdaki bilgiler ortaya çıkmıştır. Eğer Reynolds sayısı 10^5 ten büyükse katı-gaz oranı 2' den azdır. Parçacık boyutları $200\mu\text{m}$ den küçüktür.

Sürtünme enerjisinin dağılması gaz-katı akışında mühendislik dizaynı ve pnömatik sistemlerin analizi için çok önemlidir. Bu problem pek çok araştırmacı tarafından ele alınmıştır.

Kesik fazlı pnömatik taşıma sisteminde basınç düşmesinin tipik bir örneği buğday taşınması için ŞEKİL 3.3' te verilmiştir. ŞEKİL 3.4' te ise toz kömür taşınması için basınç düşmesini veren eğriler mevcuttur. Toplam basınç düşmesi ΔP_t aşağıda verilen üç ayrı basınç düşmesinin toplamıdır.



ŞEKİL 3.3 Buğday İçin Basınç Düşmesi (MARCHELLO, J.M, 1976)

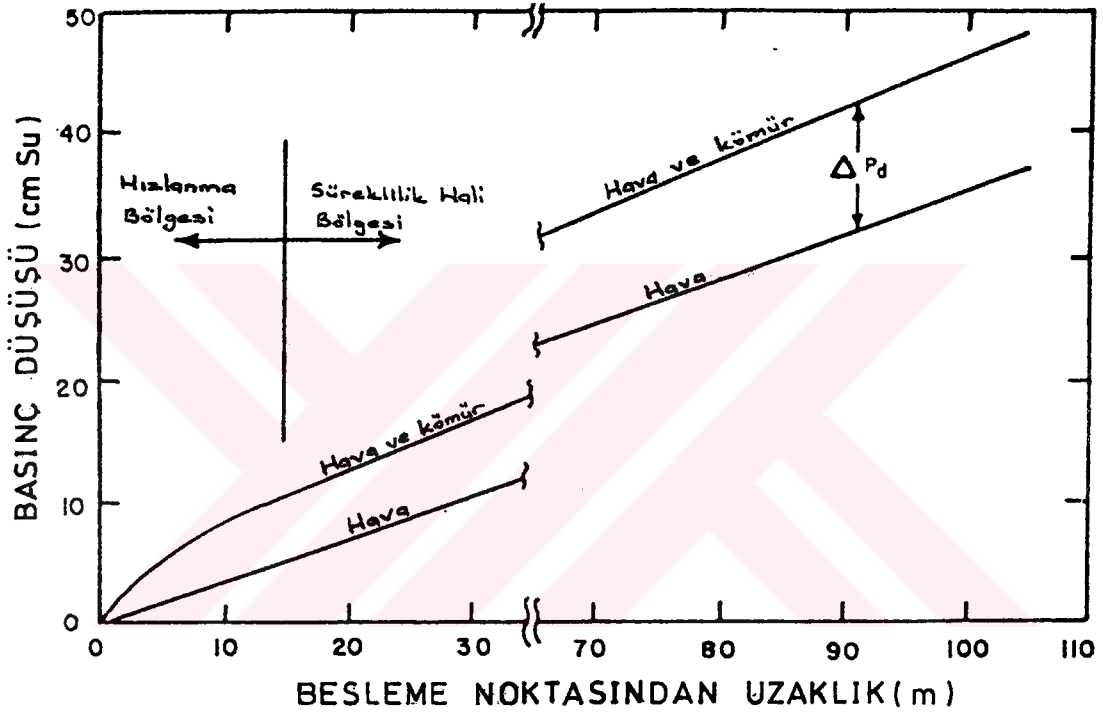
ΔP_a : Hızdan dolayı ortaya çıkan toplam basınç düşmesi,

ΔP_d : Parçacıklara etkiyen sürüklenme kuvvetinin etkisinde ortaya çıkan basınç düşmesi,

ΔP_f : Boru çeperlerindeki sürtünmenin yol açtığı basınç düşmesi

$$\Delta P_t = \Delta P_a + \Delta P_d + \Delta P_f$$

(MARCHELLO, J.M, 1976) (3.1)



ŞEKİL 3.4 Kömür Tozu İçin Basınç Düşmesi (MARCHELLO, J.M, 1976)

Gaz ve katı taneciklerin giriş hızından çalışma hızına kadar olan ivmelenme süresi bir geçici rejim teşkil eder. Hızlanma mesafesi parçacık boyutlarının büyüklüğüne (küçük parçacıklar kısa bir hızlanma mesafesine ihtiyaç gösterirler) ve katı malzeme debisine bağlıdır. Gaz hızına veya gaz-katı oranına bağlı değildir.

Rose ve Duckworth adlı araştırmacılar çeşitli malzemelerin borularda nakli için hızlanma mesafelerini deneysel olarak incelemişler ve yatay pozisyondan başlayarak çeşitli eğim açılarıyla düşey pozisyona kadar geçerli olan aşağıdaki formülü vermişlerdir.

$$\left(\frac{L_A}{D}\right) = 6 \left[\left(\frac{G_s}{\rho_f g^{1/2} D^{5/2}} \right) \left(\frac{D}{d_p} \right)^{1/2} \left(\frac{\rho_s}{\rho_f} \right)^{1/2} \right]^{1/3} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.2)$$

L_A : Minimum (limit) hızlanma mesafesi

3.2.2) Kesik Fazlı Taşımada Parçacıklara Etkiyen Kuvvetler ve Basınç Düşmesi

3.2.2.1) Sürüklenme Kuvveti : Gaz-katı süspansiyonlarının akışı olayının incelenmesi çalışmasında tek bir parçacığa etkiyen kuvvetlerin incelenmesiyle başlanıp daha sonra parçacıkların toplu akışı ele alınır. Tek bir parçacığa etkiyen sürüklenme kuvveti deneysel olarak tespit edilen C_{ds} sürüklenme katsayısı ile belirlenir. F_{ds} bir tek parçacığa etki eden sürüklenme kuvveti olmak üzere

$$F_{ds} = C_{ds} (\pi d_p^2 / 4) \rho_f (u_f - u_p)^2 / (2g_c) \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.3)$$

Burada

$$C_{ds} = 24 N_{Re}^{-1} + 3.6 N_{Re}^{-0.313} \quad 2.0 < N_{Re} < 2000, \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.4)$$

$$N_{Re} = d_p (u_f - u_p) \rho_f / \mu^f \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.5)$$

C_{ds} ve N_{re} sayıları arasındaki bağıntı TABLO 3.1' de verilmiştir.

TABLO 3.1 N_{Re} ' nin Bir Fonksiyonu Olarak C_{ds} Değerleri (MARCHELLO, J.M, 1976)

N_{Re}	C_{ds}
0.05	480
0.1	240
0.2	120
0.5	49.5
1.0	26.5
2	14.4
5	6.9
10	4.1
20	2.55
50	1.50
100	1.07
200	0.77
500	0.55
1000	0.46
2000	0.42
5000	0.385

Toplu halde hareket eden parçacıklardan birine etki eden sürüklenme kuvveti tek bir parçacığa etki eden sürüklenme kuvvetinden büyüktür. Sürüklenme kuvveti katı-gaz karışımındaki boşluk oranına bağlı olarak değişir.

$$F_d = C_d (\pi d_p^2 / 4) \rho_f (u_f - u_p)^2 / (2g_c) \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.6)$$

Burada

$$C_d = f(\epsilon) C_{ds} \text{ ve } f(\epsilon) \cong \epsilon^{-4.7} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.7)$$

Kesik fazlı pnömatik taşımada $\epsilon = 0.8 \approx 1.0$ arasında değerlere sahiptir. Parçacık konsantrasyonuna bağlı olarak C_d artar.

dL uzunluğundaki bir yatay borudaki katı parçacıkların ağırlığı dW_s olsun. Yine bu uzunluğa isabet eden parçacık sayısı dn , aşağıdaki formülle verilmiştir.

$$dn = \frac{6 dW_s}{\rho_s \pi d_p^3} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.8)$$

Eğer G_s kütleli akış debisi (kg / s) ise aşağıdaki formül verilebilir.

$$dW_s = G_s dL / u_p \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.9)$$

ve bu durumda dn şu şekilde bulunur.

$$dn = \frac{6 G_s dL}{\rho_s \pi d_p^3 u_p} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.10)$$

dL kesitindeki boşluk oranı ϵ aşağıdaki formülden bulunur.

$$\epsilon = 1 - \frac{4 G_s}{\rho_s \pi D^2 u_p} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.11)$$

dL kesitindeki parçacıklara etki eden toplam sürüklenme kuvveti tek bir parçacığa etki eden sürüklenme kuvvetinden faydalanarak ,

$$dF_d = \frac{3}{4} C_{ds} \frac{G_s \rho_f (u_f - u_p)^2 dL}{\rho_s d_p u_p g_c} \epsilon^{-4.7} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.12)$$

şeklinde bulunur.

Gaz akışının sebep olduğu sürüklenme olayı sonucunda ortaya çıkan basınç düşmesi aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$\frac{dp_d}{dL} = \frac{dF_d/dL}{\pi D^2/4} = \frac{3 D_{ds} G_s \rho_f (u_f - u_p)^2}{\rho_s d_p u_p \pi D^2 g_c} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.13)$$

Gaz katı oranının $m = 4 G_s / (\pi D^2 u_p \rho_f)$ şeklinde verilmesiyle bir önceki denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{dP_d}{dL} = \frac{3}{4} C_{ds} \frac{\rho_f^2}{\rho_s} \frac{(u_f - u_p)^2}{d_p g_c} m \epsilon^{-4.7} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.14)$$

Yatay borularda gerçek bir çalışma durumunda (toplu akış) toplam basınç düşmesi sürüklenme kuvveti ve gaz ile boru çeperleri arasındaki sürtünmeden oluşur.

ΔP_f klasik Fanning' in sürtünme faktörü kullanılarak katı parçacıkları halinde kalan gaz fazının akış debisine bağlı olarak bulunur.

$$\Delta P_t = \Delta P_d + \Delta P_f \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.15)$$

3.2.2.2) Çeperdeki Sürtünme Kuvveti ve Gravitasyonel (Ağırlık) Kuvvetleri :Denklem (3.14) ve (3.15) den yararlanarak gaz-katı süspansiyonlarının borularda akışı için basınç düşmesinin hesaplanması mümkündür. Bunun için parçacık hızı u_p ' nin bilinmesi gerekir. Seyrek bir süspansiyon için katı parçacık hızı takip eden (3.18) ve (3.19) nolu denklemlerde bulunabilir.

λ , parçacıkların boru duvarları arasında ve birbirleri arasında yaptığı hareketlere karşılık gelen sürtünme katsayısı olsun. Parçacıklara etki eden sürtünme kuvveti aşağıdaki formülle verilebilir.

$$dF_f = \pi D dL \tau_s = (\lambda u_p^2 / D 2g_c) dW_s = (\lambda u_p G_s / D 2g_c) dL \quad (\text{MARC, J.M, 1976}) \quad (3.16)$$

Sürtünme katsayısının değerleri TABLO 3.2' de çeşitli parçacıklı yapıdaki malzeme için verilmiştir.

TABLO 3.2 Katıların Sürtünme Katsayı Değerleri (MARCHELLO, J.M, 1976)

Malzeme	λ
Tenite	0.004 - 0.008
Polistiren	0.008 - 0.019
Katalin	0.003 - 0.008
Saf alüminyum oksit	0.009 - 0.018
Maden kömürü	0.005
Kok kömürü	0.005
Buğday	0.003 - 0.013
Ottawa kumu	0.010 - 0.021
Deniz kumu	0.008 - 0.019
Kraking katalitörü	0.008 - 0.023
Toprak kraking katalitörü	0.008 - 0.018
Pirinç	0.0058
Soya fasulyesi	0.0081

$$\lambda = \frac{2gD}{u_{ts}^2} \cdot \frac{u_f - u_p}{u_p} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.17)$$

Burada u_{ts} tek bir parçacık için serbest düşme sınır hızıdır. u_t ise yatay boruda parçacıkların toplu halde akışı için serbest düşme sınır hızıdır.

Parçacıklar yatay bir boru içerisinde dL mesafesinde hareket ederken serbest düşme neticesi düşey doğrultuda u_t (dL / u_p) kadar bir hareket olur. Sonuç olarak gaz gravitasyonel dF_g nin etkisi altında yeniden kaldırabilmelidir.

$$dF_g = u_t dW_s g / (u_p g_c) \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.18)$$

Serbest düşme sınır hızı toplu akış halinde aşağıdaki denklemle verilebilir.

$$u_t = \sqrt{\frac{4}{3} g d_p \left(\frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \right) \frac{\epsilon^{4.7}}{C_{dst}}} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.19)$$

burada

$$C_{dst} = 24 N_{Ret}^{-1} + 3.6 N_{Ret}^{-0.313} \text{ ve } N_{Ret} = d_p u_{ts} \rho_f / \mu \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.20)$$

u_{ts} terimi akışın belli bir anı için aşağıdaki formülden elde edilebilir.

$$u_{ts} = \sqrt{\frac{4}{3} g d_p \left(\frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \right) / C_{dst}} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.21)$$

dL uzunluğundaki borudaki parçalar için hareket denklemi aşağıda verilmiştir.

$$dF_d - dF_g - dF_f = \frac{dW_s}{g_c} \frac{du_p}{dt} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.22)$$

Sürekli çalışma şartlarında (3.22) numaralı denklem aşağıdaki gibi olur. Sürekli çalışma şartlarında eşitliğin ikinci tarafındaki atalet kuvvetinin ifadesinde ivme = $du_p / dt = 0$ 'dır.

$$dF_d = dF_g + dF_f \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.23)$$

(3.12),(3.16) ve (3.18) numaralı denklemlerdeki ifadelerin (3.23) numaralı denklemde yerine konmasıyla aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\frac{3}{4} \left(\frac{C_{ds}}{\epsilon^{4.7}} \right) \left(\frac{\rho_f}{\rho_s} \right) \frac{(u_f - u_p)^2}{d_p g} - \frac{\lambda}{2} \left(\frac{u_p^2}{Dg} \right) = \sqrt{\frac{4}{3} \left(\frac{g d_p}{u_p^2} \right) \left(\frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \right) \left(\frac{\epsilon^{4.7}}{C_{dst}} \right)} \quad (3.24)$$

(3.24) numaralı denklem parçacık hızıyla gaz hızı arasında bir bağıntıdır. Partikül hızı (3.24) numaralı denklem yardımıyla hesap yoluyla bulunabilir. Burdan elde edilen değer Richardson ve Mc Leman isimli araştırmacıların yaptıkları deneysel çalışmalar ile bulunmuş (3.19) numaralı formülden elde edilecek değer ile karşılaştırılmalıdır. (3.24) numaralı denklem parçacık hızıyla ve malzeme türüyle ilgili λ' 'nın belli olması halinde kullanılabilir. Parçacık hızının bilinmesi ile denklem (3.14) ve (3.15) borudaki basınç düşmesi hesaplanabilir. Deneysel olarak ölçülen basınç düşmesi ile hesapla bulunan basınç

düşmesi değerleri arasındaki mukayese sonucunda hesap yönteminin gerçeğe çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

3.2.3) Kesik Fazlı Katı-Gaz Karışımlarının Düşey Taşınması

Daha önce yatay borular için verilen hesap şekli düşey borularda da uygulanabilir. Dikkat edilecek nokta düşey borularda gravitasyonel kuvvetlerin farklı etkisidir. Bu durumda gravitasyonel kuvvetler aşağıdaki gibi verilebilir.

$$dF_g = \frac{g}{g_c} \cdot dW_s \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976})(3.25)$$

Sürüklenme kuvveti dF_d ve katı parçacıklara etkiyen sürtünme kuvveti dF_f ' nin değerleri yatay borularda hareket için denklem (3.6) ve (3.16)' de verilen değerlerin aynısıdır. Pektabi bu durumda hız bileşenleri düşey doğrultudadır. Eğer düşey doğrultudaki parçacık hızı u_p biliniyorsa basınç düşmesi hesabı yapmak mümkündür.

$$u_p = u_f - \sqrt{\left(1 + \frac{\lambda}{D} \frac{u_p^2}{2g}\right) \frac{4}{3} \frac{(\rho_s - \rho_f) d_p g}{\rho_f C_{ds}} \epsilon^{4.7}} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) (3.26)$$

Yukarıdaki formül Yang tarafından tecrübelerle dayanan araştırmalar sonucu verilmiştir. (3.26) numaralı bu denklemin verdiği değerler tecrübelerle görülmüştür ki ± 20 doğrulukla gerçeğe uygundur.

3.2.4) Kesik Fazlı Gaz-Katı Akışında Sürüklenme Azalması

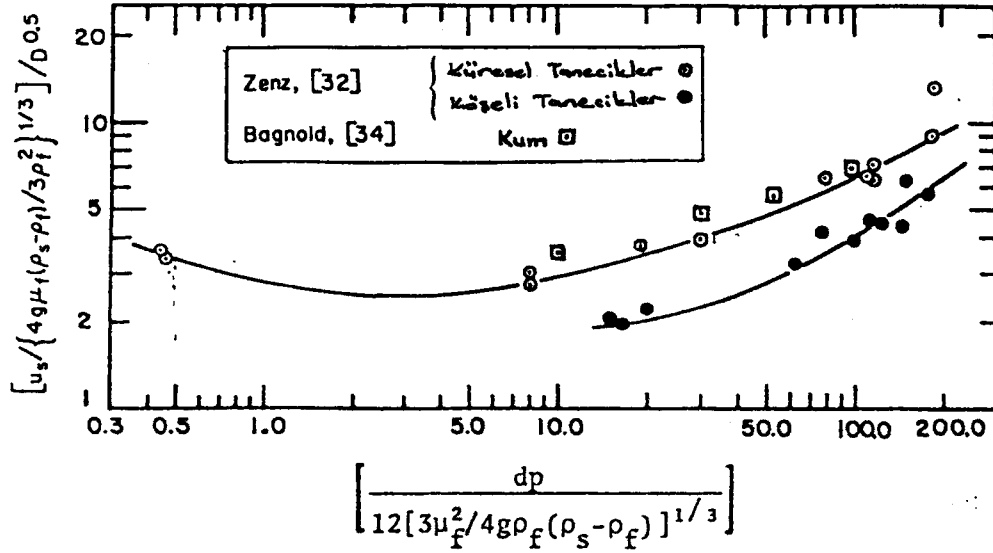
Önceki bölümlerde üzerinde durulduğu gibi gaz-katı süspansiyonları ile ilgili olarak yapılan deneysel çalışmalarda katı parçacık oranının artmasıyla akışa gösterilen sürtünme direncinin arttığı gözlenmiştir. Bununla birlikte bazı araştırmaların sonuçlarına göre belirli şartlar altında bu durumun tersine döndüğü söylenebilir. Öyleki saf gaz kullanılması katı parçacıklarının çok küçük olması ve yükleme oranının düşük olması halinde sürtünme direncinin azaldığı tespit edilmiştir. Örneğin Rossetti ve Pfeffer gibi yazarlar yükleme oranının 1.5 ve Reynold sayısının 25.000 den az olması ayrıca parçacık boyutlarının $30\mu\text{m}$ ' den küçük olması halinde sürtünme katsayısının 0.27 den küçük

olacağını ifade etmişlerdir. Bu ise sürüklenme olayında %75 azalma demektir. Sürüklenme olayının (parçacıkla akışkan arasındaki sürtünme sonucunda ortaya çıkan hareket) bu şekilde azalması çeperleri birbirine yakın borularda türbülansla parçacıkların birbirlerini etkilemeleri sonucunda ortaya çıkar.

3.3) YOĞUN FAZLI AKIŞ SİSTEMLERİ

3.3.1) Yatay Borularda Sürüklenme Hızı

Önceki bölümlerde yatay borularda kesik fazlı akım için denklemler geliştirilmişti. Bununla birlikte katı-gaz oranının büyümesi veya gaz akış debisinin taşıma hattında azaltılması halinde katı parçacıkları yatay borunun dip tarafı boyunca çökmeye ve borunun kesit alanını daraltmaya başlarlar. İşte parçacıkların bu durumda durmasına engel olacak minimum hız sürüklenme hızıdır ve bu hız gaz-katı taşıma sistemlerinde çok önemlidir. Önceki bölümde verilmiş bulunan kesik fazlı akış süspansiyonlarına ait akış karakteristikleri yoğun fazlı katı-gaz karışımlarının karakteristiklerinden tamamen farklıdır. Bu akış türünde akış şekli için herhangi bir denklem verilmeden önce akış rejimlerinin doğru olarak teşhis edilmesi gereklidir. Yatay borulardaki akış için Zenz tarafından tek bir parçacık için sürüklenme hızını veren ampirik bir bağıntı verilmiş olup bu ŞEKİL 3.5' te gösterilmiştir. Bu şekilden şu sonuçlar çıkarılabilir. Sürüklenme hızı u_s azalan parçacık boyutuyla birlikte azalır. Fakat bazı özel parçacık boyutlarında sürüklenme hızı parçacık boyutlarından bağımsızdır. Daha sonrada azalan parçacık boyutuyla sürüklenme hızının artması söz konusudur. Değişik parçacık boyutları için bulunan sürüklenme hızı noktalarının bir eğri ile birleştirilmesiyle sürüklenme hızı için bir minimum değer bulunur. Bu çok küçük parçacıkların çok güç süspanse olduğu ve taşıma olayı için çok yüksek hızların gerekli olduğu bir bölgenin kesik faz süspansiyonlarında mevcut olduğu gösterir. Bu özellik küçük parçacıklarda mevcut olan elektrostatik olarak yüklenme etkisine ve yüzey etkisine dayandırılmıştır.



ŞEKİL 3.5 Yoğun Fazlı Akış İçin Sürüklenme Hızı Korelasyonu (MARCHE, J.M, 1976)

Sürüklenme hızının değişik boyutlu parçacık karışımlarının yatay boyutlarda taşınması halinde Zenz tarafından teklif edilen bir metodla bulunması mümkündür. Bu metoda göre ŞEKİL 3.5' ten en küçük ve en büyük parçacık boyutları için sürüklenme hızı bulunur. Daha sonra hızı veren nokta eğri parçasının eğimi olan S bulunur. Son olarak iki sürüklenme hızından büyük olan değer seçilir ve kontrol edilir. Zenz farklı boyutlu tanecikler için minimum taşıma hızını veren aşağıdaki formülü teklif etmiştir.

$$W/\rho_s = 0.7(S)^{1.5} (u_p' - u_s) / u_s \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.27)$$

3.3.2) Yoğun Fazlı Yatay Taşımada Basınç Düşmesi

ŞEKİL 3.1' de görüldüğü gibi gaz hızının sürüklenme hızının altına düşürülmesi ve katı-gaz oranının yükseltilmesi halinde parçacıklar borunun dibinde çökerek bir kayma hareketi yapmaya başlarlar. Böyle yoğun fazlı katıların taşınması genellikle akışkanlaşmış yataklı besleyicilerle sağlanır.

Yoğun fazlı gaz katı karışımlarının akışkanlaşmış yataktan boşaltılması bir kesitli boşaltma tüpü ile yapılır. Klasik pnömatik taşıma tesislerinde katı gaz oranının 0.1-5.0 arasındaki değerleri söz konusu iken akışkanlaştırılmış yataklı besleyiciler kullanılması

halinde bu oran 25-900 arasındaki değerleri alabilir. Yoğun fazlı gaz katı karışımları için söz konusu olan akış türleri önceki bölümlerde incelenmişti. Akışkanlaşmış besleyiciler civarında katı parçacıkları üniform olarak dağılmış görünür. Fakat sonraki bölgelerde katı parçacıkları durma ve periyodik aralıklarla tepecikler oluşturma eğilimi gösterir. Akıştaki böyle düzensizlikler parçacık hızının çeşitli boru kesitleri için tahmin edilmesi gerektirir. Olayda katı parçacıklarının hızı boru içinde noktadan noktaya değişir. Hatta parçacıklar belli bir bölgede hızlandırıldıktan sonra alternatif olarak hızlanır ve yavaşlarlar. Basınç düşmesi ancak tahmini olarak bulunabilir.

Yoğun fazlı taşımada katıların az veya çok kollektif olarak hareket etmeleri bunların tek parçacık durumuna göre anlaşılması daha güç bir durum oluşturmaya yol açan tekil durumun etkisi hem boyut hem de şekil bakımından farklılık yaratır. Önemli olan nokta şudur ki parçacık kütlelerinin ortalama hızının mantıklı bir şekilde belirlenebilmesi için taşıma borusunun her yerinde ölçümler yapılmıştır. Önce boru içindeki karışımın ortalama yoğunluğu aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\rho_{ds} = \frac{\text{Giriş ve çıkış valflerinin aynı anda kapatılmasıyla elde edilen ölçüm kesiti içindeki katı malzemenin ağırlığı}}{\text{Ölçüm kesitleri arasındaki boru hacmi}}$$

(MARCHELLO, J.M, 1976)

Ortalama parçacık hızı aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$u_p = W/\rho_{ds} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.28)$$

Yoğun fazlı taşıma halinde karışımın yoğunluğu katı-gaz oranına bağlı olarak görünür durumunda 2-3 defa daha büyüktür. Bu, katı ve gaz akışları arasındaki kaymanın kanıtıdır. Wen ve Simons isimli araştırmacılar akışkanlaştırılmış besleyiciye sahip cam borulu bir sistem içerisinde taşınan parçacıkların üç boyutu için basınç düşmesi ve hızı bulmuşlardır. Gaz ve katı arasındaki kayma miktarının ki gaz hızı parçacık hızından en az iki kez daha büyüktür ve pratik olarak parçacık boyutlarından bağımsız olduğu deneysel olarak anlaşılmıştır.

Basınç düşmesi aşağıdaki amprik bağıntıyla verilmiştir.

$$\frac{\Delta P_t}{L \rho_{ds}} \left(\frac{D}{d_p} \right)^{1/4} = 2.5 u_p^{0.45} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.29)$$

Parçacık basınç ve şeklinin basınç düşmesine etkisi oldukça küçüktür.

Gaz hızının bulunması için (3.29) numaralı denkleme benzer olarak

$$\left(\frac{\Delta P_t}{L W_s} \right) \left(\frac{D}{d_p} \right)^{0.25} = 3.8 (u_f)^{-0.55} \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.30)$$

(3.30) numaralı denlem basınç düşmesini verir. Gerekli veriler Holden isimli araştırmacı tarafından 25, 50 ve 75 mm' lik boru çapları halinde maden kömürü için, Zenz tarafından cam tanecikleri için, Wen ve Simons tarafından cam tanecikleri ve kömür için ve Koble tarafından Feldspat Quartz için verilmiştir.

(3.30) numaralı denkleme yoğun fazlı pnömatik taşımayla katı yükleme oranının 25–900 arasındaki değerleri için yaklaşık olarak değer verir ve dikkatli olmak gerekir. Basınç düşmesinin belirlenmesinde parçacık hızlanma mesafesi ve boru çapının etkisi konularında elde yeterli bilgi mevcut değildir.

3.3.3) Düşey Taşımada Tıkanma Hızı

Katıların düşey taşınması en çok katalitik rejenerasyon ünitelerinde, katalitik dönüşüm ünitesi tüpünde havanın kaldırma gücünden yararlanılması ile karşılaşılmaktadır. Düşey taşıma akış karakteristiklerinin kolay anlaşılması için Şekil 3.6' dan yararlanılabilir. Katı parçacıklarının sabit kütersel debileri W_1 ve W_2 için eğriler verilmiştir. Basınç düşmesi gaz akış debisinin tedrici olarak azaltılması ile C ve F noktalarından D ve G noktalarına düşer. Benzer olarak statik basınç artarken parçacıkların hızı ve boşluk oranı azalır. D ve G noktalarında katı tanecikleri gaz sürtünmesini yenmeye başlar ve basınç düşmesi keskin eğrilerle bu noktanın sağında ve solunda artar. Yaklaşık olarak erilmiş olan E ve H noktalarında gaz süspansiyonu yüksek

yoğunluğunu kaldıramaz ve çökelmeye başlar. Bu noktalarda boru kesitinin taneciklerle dolu olduğu bir akış söz konusudur.

E ve H noktalarındaki gaz hızı tıkanma hızı olarak isimlendirilir ve doymuş akışı temsil eder. Bundan dolayı tıkanma hızı yatay borularda taşımada söz konusu olan sürüklenme hızına benzer. Her ikisi de kesik ve yoğun fazlı taşıma sırasında katıların taşınabilmesi için gerekli alt sınırları verir.

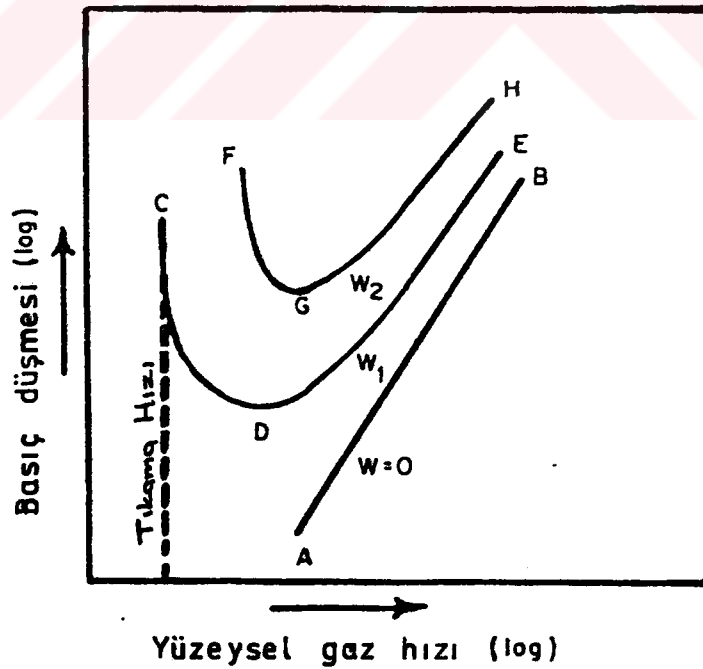
Zenz ve Othmer isimli yazarlar tıkanma hızını aşağıdaki formül ile vermişlerdir.

$$W_{ch} = \rho_s (1 - \epsilon_{ch}) (u_{ch} - u_t) \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.31)$$

Burada kritik boşluk oranı ϵ_{ch} katının özgül ağırlığından yaklaşık bağımsızdır. Bu kritik boşluk oranı aşağıdaki formül ile verilmiştir.

$$\epsilon_{ch} = 0.03 \rho_s + 0.91 \quad (\text{MARCHELLO, J.M, 1976}) \quad (3.32)$$

Burada ρ_s (gr/cm^3), $d_p > 0.17$ ve $0.945 < \epsilon_{ch} < 0.987$



ŞEKİL 3.6 Düşey Transportta Akış Karakteristikleri (MARCHELLO, J.M, 1976)

Aynı boyutlu tanecikler için Zenz ve Othmer adlı bilim adamları yatay taşımadaki sürüklenme hızının, düşey taşımadaki tıkanma hızına yaklaşık olduğunu bulmuşlardır. Ancak karışık boyutlu tanecikler halinde tıkanma hızı 3 ile 6 kere daha küçüktür.

Yoğun fazlı sıvıların taşınmasıyla ilgili deneysel araştırmalar yeterli seviyede değildir.

Sandy, Daubert ve Jones isimli bilim adamları katı-gaz sistemleriyle ilgili pek çok çalışma yapmışlardır. Bu araştırmacılar yoğun fazlı sistemlerde toplam basınç düşmesinin çok dikkatli şekilde hesaplanmaya ihtiyaç gösterdiğini vurgulamaktadırlar. Özellikle taneciklere ilk hareketi vermek yani bunları kaldırmak için gerekli olan basınç düşmesi yaklaşık olarak borudaki basınç düşmesinin dört katıdır. Parçacıkların bu ilk hareketi sırasında basınç düşmesi yaklaşık olarak aşağıdaki formülle bulunabilir.

$$\Delta P / L = 4 \rho_b \quad (\text{MARCHELLO, J.M., 1976}) (3.33)$$

Burada ρ_b katı parçacıkların yığınsal özgül kütlesidir. L ise borunun uzunluğudur. Bu yaklaşık denklem deneysel olarak tespit edilmiş aşağıdaki aralıkları kapsar.

Parçacık özgül kütlesi : 2500 - 4000 kg/m³

Parçacık çapı : 25 - 35 mesh

Katı-gaz yükleme oranı : 5000 e kadar.

Buraya kadar anlatılanlarla ilgili olarak şu sonucu vermek mümkündür. Yoğun fazlı sistemlerde düşey taşımada yüksek bir emniyet faktörü gözetilmesi bir dizayn için gereklidir.

4) PNÖMATİK TAŞIMA SİSTEMLERİ DİZAYN VE UYGULAMALARI

4.1) TAŞIMA SİSTEMİNİN SEÇİMİ

Pnömatik taşıma genel olarak aşağıdaki şekillerde veya bunların kombinasyonları halinde bulunabilir.

4.1.1) Negatif basınçlı (vakumlu) sistemler.

4.1.2) Pozitif basınçlı sistemler.

4.1.3) Gaz içinde yüzen parçacıkların ağırlıkları etkisiyle yaptıkları hareket.

Her bir sistem değişik durumlar için farklı avantajlara sahiptir. Kullanılacak taşıma sisteminin doğru seçimi için bu avantajlar iyice analiz edilmelidir. Genellikle son seçim alternatif çözümlerin avantaj ve dezavantajları değerlendirildikten sonra dahi büyük bir kesinlikle yapılamaz.

4.1.1) Negatif Basınçlı (Vakumlu) Sistemler.

Vakumlu taşıma sistemleri basıncın maksimum olduğu (min. vakum) giriş noktasından, basıncın min. olduğu (max. vakum) çıkış noktasına katı taneciklerin süspansiyon veya yüzer durumda bir boru vasıtasıyla akışkanın taşıma kuvvetinden yararlanarak taşınmasına imkan veren sistemlerdir. Vakum sistemleri iki belirgin avantaja sahiptir. Bunlardan birincisi besleme mekanizmasının çok basit olmasıdır. Yükleme (besleme) mekanizması kolaylıkla farklı durumlara uygulanabilir. Bir tren vagonundan, bir kamyonun kasasından veya gemi depolarından kolaylıkla yükleme yapmak vakumlu sistemlerle mümkündür. Ayrıca bu sistem bir kaç yerel besleme noktasından bir ana noktaya taşımaya imkan verir. Şekil 4.1’de vakumlu sistemlere bir örnek verilmiştir. Hava ve malzeme girişi aynı yerden veya farklı noktalardan yapılabilir. Bu sistemde sırasıyla yükleyici, taşıma boruları, gaz-katı ayırma cihazı ve son olarak gaza hareket veren vakum pompası bulunur.

Katı parçacıkları havada tek tek yüzer haldeyken giriş kısmından içeri çekilen hava tarafından sisteme yüklenir. Bir başka yükleme sistemi de yıldız valf veya iki valfli kapalı hazneli besleyiciler kullanarak yüklemenin yapılmasıdır. Besleyicilerle bunların üniteleri tek tek bu bölümün sonunda açıklanmıştır. Taşıma hattı boyunca iç basınç atmosferik basınçtan daha az olduğundan akış olayı ve sızıntılar daima boruların içine doğrudur. Bu toz kontrolü bakımından büyük avantaj yaratır. Bununla birlikte yine de hatta sızıntı olmasına izin verilmez. Aksi halde sisteme giren hava artacağından gerekli vakumu

yaratacak mekanizmanın boyutları, dolayısıyla maliyeti büyür. Bundan başka sızıntılar sisteme soktukları pislikler nedeniyle temizliğin önemli olduğu proseslerde arzu edilmez.

Gaz-katı ayırma cihazı terminali genellikle sistemin son depolama (alış) silosunun üstünde (sonunda) bulunur. Bunlar genellikle malzeme parçacıklarının helezonlar veya saptırıcı paletler yardımıyla kapalı odalarda düşmesi esasına dayanır. Parçacıkların gazdan ayrılması kuru siklonlarla da yapılabilir. Kuru siklonlar veya bunların çeşitli kombinasyonları daha çok büyük parçacıkların tutulmasında kullanılır. Torba filtreler ise toz veya ince parçacıkların yüksek verimle tutulmasında faydalıdır.

Katı parçacıklardan temizlenen hava vakum pompasının çıkışından atmosfere verilir. Sistemdeki hava akımı oldukça önemli seviyede bir gürültüye yol açar. Bu gürültü susturucular kullanılarak azaltılabilir.

Vakum sistemi parçacık boyutu yaklaşık 50 mm.' ye kadar olan ve taşıma mesafesi 500 m.' yi geçmeyen durumlarda elverişlidir. Genellikle vakum sistemlerini kullanmaktaki temel amaç bu sistemlerde kullanılan besleyicilerin basitliğinden faydalanmaktır. Vakum 300 mmHg sütununa kadar ve akışkan hızı 20-40 m/s olabilir.

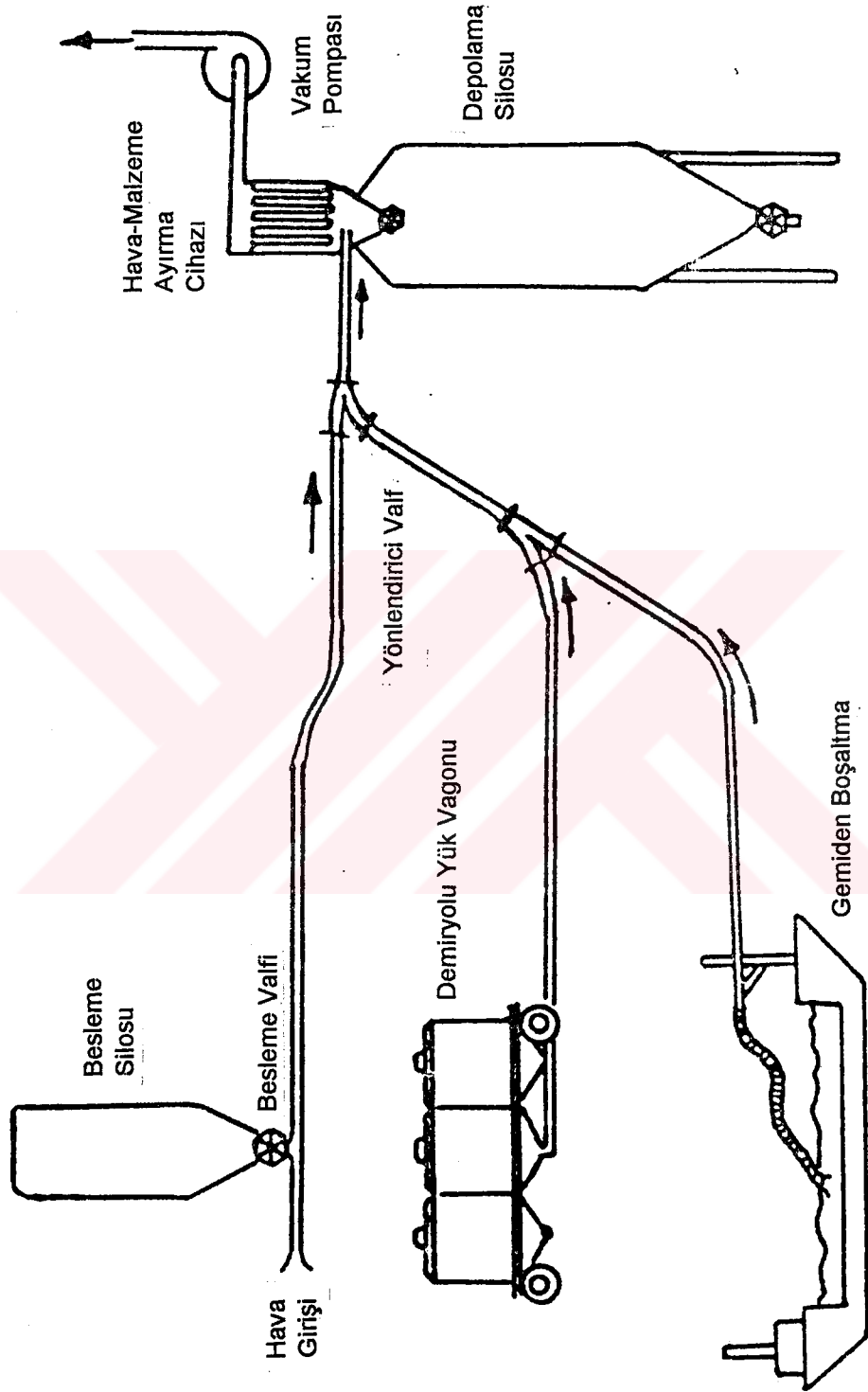
4.1.2) Pozitif Basıncılı Sistemler

Atmosfer basıncından büyük basınçlar kullanılarak parçacıklı katıların taşınması tek bir sabit besleme bölgesinden tek bir boru hattı kullanarak, gerektiğinde akışın yönünün valflerle kontrol edildiği ve çok sayıda çıkış noktasının bulunduğu sistemlerdir.

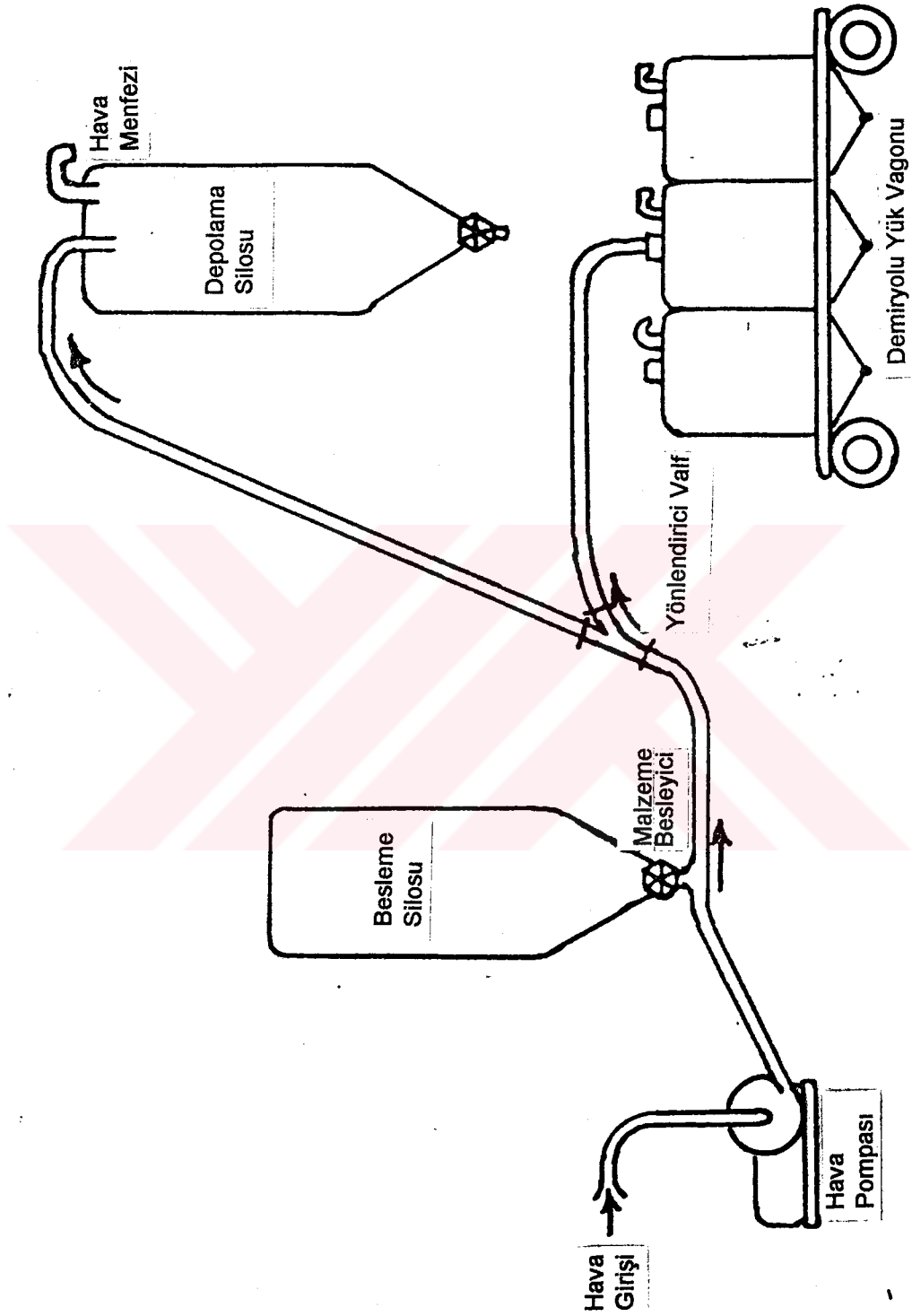
Stoess pozitif basınçlı sistemleri üçe ayırmıştır.

- 1- Düşük basınç sistemleri (Max. basınç 1.4 bar'a kadar)
- 2- Orta basınç sistemleri (Basınç 1-3 bar arasında)
- 3- Yüksek basınç sistemleri (Basınç 3-9 bar arasında)

Pozitif basınçlı taşıma sistemleri genellikle Şekil 4.2' de gösterildiği gibi düzenlemiştir. Bir besleyici kullanılarak taşınacak malzeme basınçlı havanın içine verilmiştir. Gaz akımı istenilen sayıda yerden boşaltma yapma amacına yönelik boru swithleri, çevirme kapıları, boşaltma vanaları ile donatılmış boruda gerektiği gibi yönlendirilebilir.



ŞEKİL 4.1 Şematik Olarak Negatif Basıncılı Taşıma Sistemi (MARCHELLO, J.M, 1976)



ŞEKİL 4.2 Şematik Olarak Pozitif Basıncılı Taşıma Sistemi (MARCHELLO, J.M, 1976)

Basınçlı sistemlerin avantajları şunlardır:

Boşaltma noktalarındaki donanım çok basittir. Genellikle son depolama tankının bitiminde havayı temizleme cihazları bulunur.

Düşük basınçlı sistemlerde havaya gerekli hareketi vermek için vantilatörlerden faydalanılır. Orta basınçlı sistemlerde özel olarak dizayn edilmiş gaz-katı pompası olan Fuller-Kinyon pompası kullanılır. Yüksek basınçlı sistemlerde ise malzeme alternatifi olarak sırayla yüklenen sonra da basıncı artırılan tanklar yardımıyla sisteme yüklenilir. Yükleme düzenli olarak karşılıklı hareket eden pistonlarla yapılır.

Düşük basınçlı sistemler kuru pulverize edilmiş granül yapısındaki malzeme ve lifli malzeme için kullanılır. Orta ve yüksek basınçlı sistemler ise normal olarak boyutları 50-100 mesh' den küçük olan parçacıklı malzemelerin taşınmasına uygundur. Düşük basınçlı sistemler pek çok sahada uygulanabilir. Ancak taşıma mesafeleri bir kaç yüz metre ile sınırlıdır. Uzun mesafeli (2500-3000 m.'ye kadar) taşıma olayında büyük bir dikkate ihtiyaç göstermesi ve besleme sistemindeki güçlüklerle rağmen yüksek basınçlı sistemler kullanılır.

Gaz-katı karışımının sızıntısını min. yapmak için özel ön tedbirler almak, pozitif basınçlı sistemler için gereklidir. Temin edilen basınçlı havanın boruların içinde birikmesi (hava yastıkları teşekkülü) halinde bu akışın bozulmasına veya tamamen bloke olmasına yol açar. Dizayn mühendisleri için önemli bir nokta girişteki besleyicilerle çıkıştaki silolara olan bağlantıların (menfezlerin) özenle gerçekleştirilmesidir. Besleme olayında malzeme basınçlı gazın içine üniform olarak dağılmalıdır. Besleme cihazının dizaynının zayıf olması akış sisteminde geriye doğru basınç dalgalanmalarına yol açar. Bu ise akış hattında kesitin tamamen dolu olduğu bir akışa veya tıkanmaya yol açar.

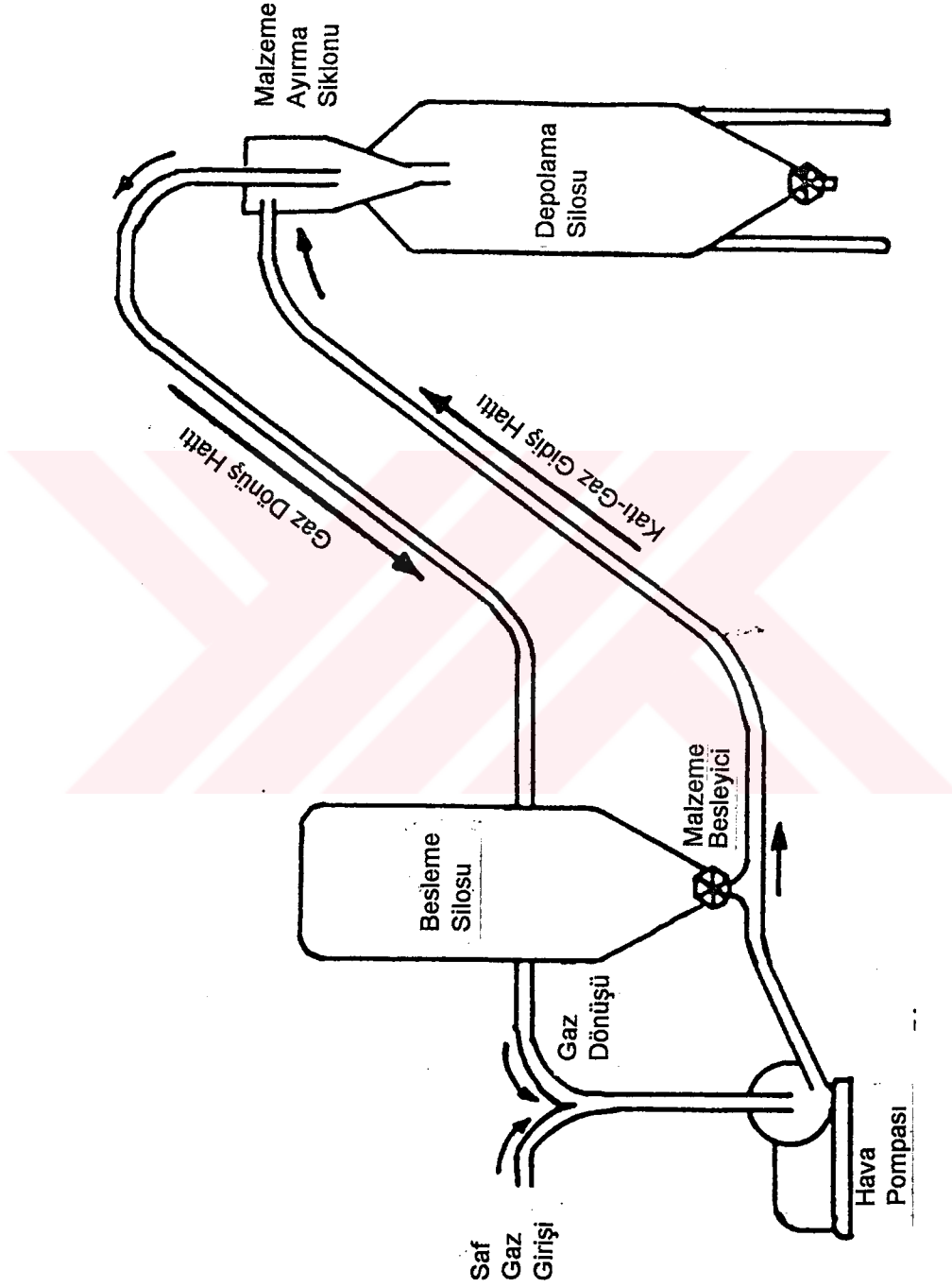
Küçük veya kötü dizayn edilmiş çıkıştaki siloya giriş menfezleri yüksek oranda bir basınç düşmesine yol açar. Hatta akışın durması sonucunu doğurur. Bütün borular, valfler ve boru bağlantı dirsekleri aerodinamik olarak akışı kolaylaştırabilecek şekilde dizayn edilmelidir. Borular ve bağlantı flanşları sızdırmaz olmalıdır. Fakat aynı zamanda hatların tıkanma durumlarında bakımın kolay yapılması için demontaj imkanı fazla ve kolay olmalıdır.

4.1.3) Pozitif ve Negatif Basıncı Sistemlerin Özel Kombinasyonları

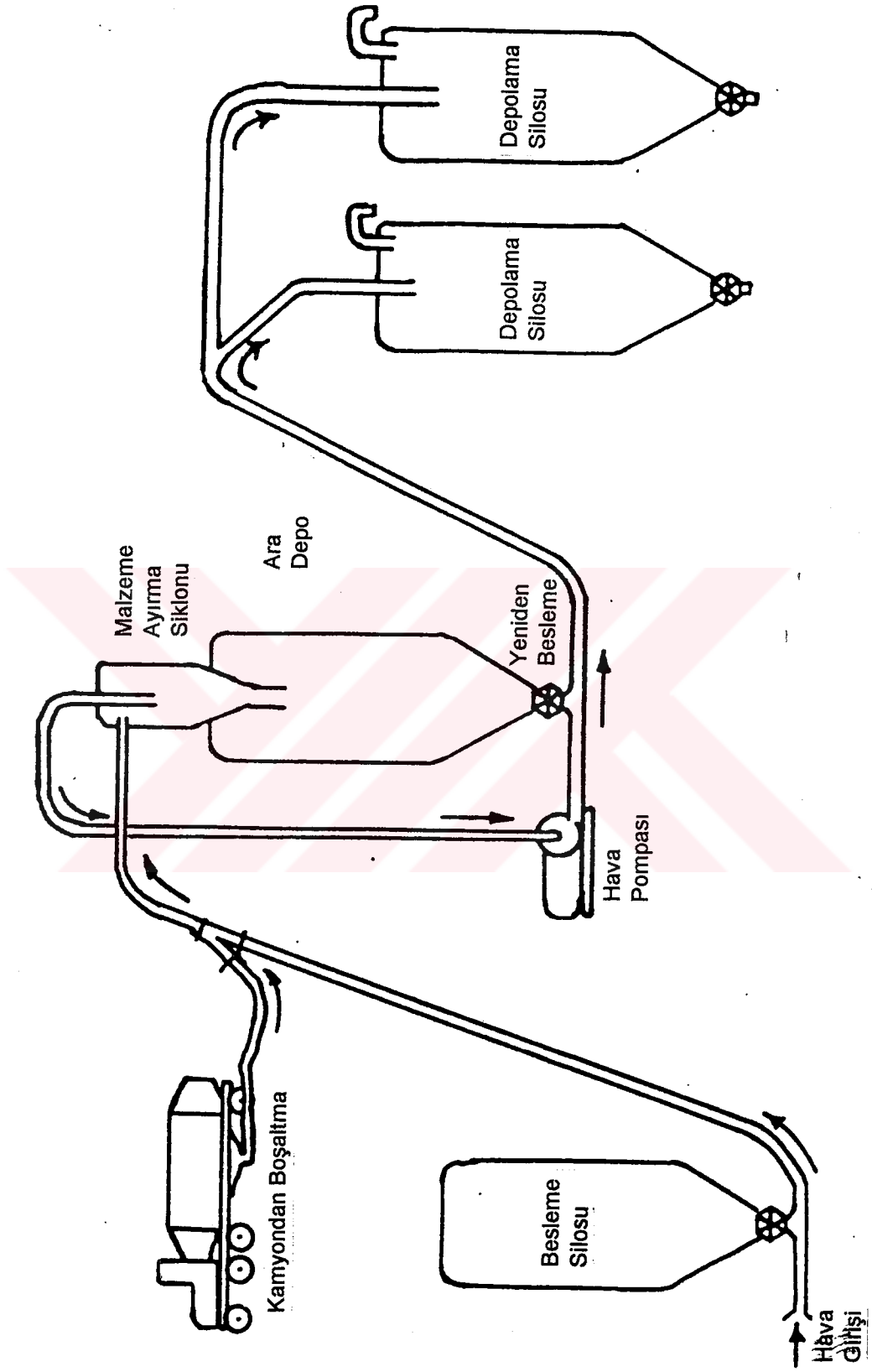
Bazı tür malzemelerin naklinde oksidasyonu min. yapmak veya patlama tehlikesini azaltmak için saf gazlar veya şartlara uygun özel bir gaz kullanılabilir. Bu durumda kullanılan akışkandan tekrar faydalanmak için sistemin kapalı devre olması gerekir. Bu durumda Şekil 4.3' da görülen dönüş hattını sisteme eklemek gerekir. Tabi ki bu ek hatlar sistemin yatırım maliyetlerinde artmaya yol açar. Ancak bu sistemde negatif ve pozitif basınç sistemlerinden farklı olarak çıkış haznesinden sonra toz toplayıcılar kullanılmaz. Haznede tutulamayan parçacıklar sürekli olarak hatlarda sirküle olur. Çift hatlı bu sistemlerin bir başka sakıncası da sistemle birden fazla malzemenin taşınması gerekiyorsa ve bunların birbirine karışmaması için temizlik yapmak gerekli ise, bu temizliğin güç oluşudur. Farklı malzemeler birbirlerine karışarak kirlenmeye yol açabilir.

Eğer malzemeler bir kaç noktadan yüklenip geniş bir sahaya dağıtılmış çok sayıdaki çıkış noktasına götürülmesi söz konusu ise Şekil 4.4' da gösterilen vakum-basınç sistemi kombinasyonu kullanılır. Pompa veya vantilatör dizaynından dolayı yüksek katı konsantrasyonu halinde akışın sağlanması çok güçtür. Bu nedenle önceden basıncı yükseltilmiş hava içine malzemenin daha sonra gönderilmesi yolu tercih edilir. Bu dizayn tekniği besleme ve çıkış üniteleri, parçacık ayırma sistemleri ve akışkanın yeniden kullanılması halinde pompanın yerleştirileceği sahaya ilgili olarak pek çok seçenek ortaya koyar.

Bu sistemin önemli avantajları şudur; merkezde daimi bir pozisyona sahip olan separatör, üfleyici, besleyici, malzeme yükleme ve son çıkış bölgesindeki donanımın önemli ölçüde azalmasını ve basitleşmesini sağlar. Benzer bir donanım kullanılarak sistem çıkışında tutulamayan parçacıklar yeniden basınçlı hale getirilen hava ile tekrar bir süspansiyon oluşturarak yardımcı donanım olarak (ek istasyon) uzun mesafeli taşımalarda kullanılır. Bununla beraber çalışma basıncı uzun mesafelerde çok yüksektir.



ŞEKİL 4.3 Şematik Olarak Kapalı Devre Taşıma Sistemi (MARCHELLO, J.M, 1976)



ŞEKİL 4.4 Şematik Olarak Pozitif Negatif Basınç Sistemleri (MARCHELLO, J.M, 1976)

4.1.4) Gaz İçinde Yüzen Parçacıkların Ağırlık Etkisiyle Hareketi.

Klasik pnömatik taşıma sistemlerinde katı parçacıkların hava akımı içinde tam olarak yüzmesinin (akışkanlaşmasının) , havanın moment uygulamasıyla sağlanmasına ihtiyaç vardır.

Bu düşünce şekli havanın ağırlığı etkisiyle hareketinden yararlanılarak biraz değiştirilir. Burda katı parçacıkları yatayla yaklaşık 15° açı yapan genellikle kumaş kaplı bir yüzeye düşerler. Kumaşın (veya herhangi gözenekli bir yapı) altından yukarı doğru akışkanlaşma hızı civarında bir hız verilir. Parçacıklar bu durumda konveyörün eğimi yönünde ağırlıklarının etkisiyle hareket ederler. Bu konveyörde yön değişiklikleri geniş radyuslarla yapılır. Akış debisi belli bir tesis için eğim değiştirilerek ayarlanır.

Bu tip konveyörlerin taşıma mesafeleri ve yükseltme kabiliyetleri sınırlıdır. Bununla birlikte çok az miktarda ve düşük basınçta havaya ihtiyaç gösterir. Büyük kapasiteli sistemlerde üniform bir akış debisi elde etmek için geçirgen ara parçanın her noktasından aynı hava geçişini mümkün mertebede sağlayacak bir dizayn gereklidir. Doğal olarak yükselti değişikliklerinin yukarıda bulunan bir besleyiciden daha aşağıda bulunan çıkış noktalarına doğru olması gerekir. Sıcaklığın ve akışkanlaştırma gazının uygun seçilmesiyle malzeme kurutulması, soğutulması, ısıtılması veya bir kimyasal işleme tabi tutulması taşıma sırasında ikinci bir görev olarak başarılabılır. Bu teknik, parçacıklı malzemenin silolara yüklenmesi halinde de kullanılır. Parçacıklar silonun pürüzsüz duvarlarından aşağıya doğru akarlar. Böylece silonun tamamen dolmasını engelleyen malzeme köprüleri silonun iç çepherleri arasında oluşmaz.

4.2) TEÇHİZATIN ELEMANLARI

Maksimum verim ve problemsiz-arızasız işletme koşullarını sağlayacak gaz-katı taşıma sistemlerine ait donanımın, eski mühendislik tecrübelerinin ışığı altında klasik makina yapım bilgisiyle gerçekleştirilebilir. Bugüne kadar değişik çalışma şartları için pek çok sayıda pnömatik donanım elemanı geliştirilmiştir. Dizayn için gerekli veriler ve çalışma şartları hala tam olarak açıklığa kavuşmuşmamıştır. Bu nedenle dizayn

aşamasından önce donanım elemanlarını tek tek tanıtan ve bunların birlikte çalışmaları halinde performanslarını inceleyen literatürü taramakta fayda vardır. Pnömatik transport tesisleri malzeme besleme sistemleri ,boru hatları, valfler, debimetreler ve malzeme ayırma sistemlerinden oluşur.

4.2.1) Malzeme Besleme Sistemleri

Negatif basınçlı sistemlerde ve düşük-pozitif sistemlerde çok sık kullanılan besleme sistemi dönel hava kapalı veya yıldız çark, hücre tekerlekli vana gibi isimler alan makinadır. Bu makina yatay eksenli silindirik bir hücre içinde dönen kanatlı çarktan ibarettir. Çarkın radyal kanatlarının ucu hava sızdırmazlığını sağlayacak şekilde gövde cidarlarıyla arasında çok az boşluk kalacak şekilde imal ve monte edilmiştir. Çarkın üstteki bölümüne katı malzeme parçacıkları sürekli dolar. Bu bölüm dönme hareketiyle alt pozisyona gelir ve burada içindeki malzeme düşerek veya akışkan tarafından süpürülerek boşaltılır. Kanatlı çarkın dönme hızı değiştirilerek katı malzemenin sisteme yüklenme oranı istenilen hassasiyetle sağlanır.

Dönel besleyiciler akışkan içine yükleyecekleri karakteristiklerine uygun dizayn edilmelidir. Malzemenin parçacıklar boyutları ve aşındırma karakteri besleyici kanatlarını dizaynını etkiler. Genellikle radyal kanatların uçları için özel dizaynlara ihtiyaç vardır. Kanatlarla besleyicinin gövdesi arasındaki boşluk 0.25 mm. civarındadır. Sızdırmazlık için bu noktaya dikkat etmek gerekir.

Besleyicilerin dizaynında bir ön tedbir olarak katı malzemenin takılacağı, birikebileceği konstrüksiyonlardan kaçınmak gerekir. Örneğin dikkat edilecek bir nokta şudur. Besleyici dönel çarkının boşaltma kısmındaki yani alt tarafındaki hücre bölümleri basınçlı hava ile dolu olarak malzeme alma pozisyonuna yani üst pozisyona gelir. Bu ise malzemenin kanatlarının arasına girmesine engel olabilir. Kanatlar arasındaki bu bölümler malzemenin tam dolma ve boşalma yapabilmesine imkan verecek şekilde olmalıdır. Bir özel problemde malzemenin kolayca yapışma ve yığılma özelliği göstermesidir. Eğer katı malzeme hidroskopik ise yani suyu bünyesine çekme eğilimi gösteriyorsa silolar kuru bir gazla temizlenmeli veya buharla ısıtılmalıdır.

Dönel çarklar için bir başka önemli nokta da bakım ve temizliktir. Sistemin fiziksel yapısı kolayca demontaja, bakıma ve tamire imkan vermelidir. Dönel çarklar başarıyla uygulanırken pek çok sayıdaki yükleme tekniği ile geniş bir uygulama sahası bulmuştur.

Vakumlu pnömatik taşıma tesislerinde besleyiciler basit bir yapıya sahip olup büyük avantajlar sağlar. Elle veya yarı otomatik olarak çalıştırılan bu yükleme elemanları demiryolu yük vagonlarının, gemilerin ve kamyonların boşaltılmasında büyük bir kolaylık sağlar.

Giriş nozulu (emme ağzı) genellikle fleksibil bir borunun ucunda yer alır. Borunun esnekliği malzemenin bulunduğu haznenin köşelerinin boşaltılmasında kolaylık sağlar. Giriş nozulünü katı malzeme yığını çevresinde hareket ettirmek mümkündür. Bu tekniğin avantajları farklı yapı ve malzemenin bulunduğu hacimlere kolaylıkla uygulanabilmesidir. Bununla beraber sistemin otomatik hale getirilememesi elle işletmeye veya sürekli bir gözetime ihtiyaç göstermesi olumsuz tarafını teşkil eder. Bir de girişteki gaz-katı akışının kütsel debisi düzensizlik gösterir ve sık sık gaz-katı kütsel oranı verimli çalışma halindeki değerden çok yüksek hale gelir. Bu sistemin verimini düşürür. Çünkü belli bir kapasiteyi gerçekleştirmek için hava üfleme donanımının büyük ve pahalı olması gerekir. Düşük basınçlı taşıma sistemlerinde bir başka yükleme sistemi de su veya su buharının vakum sifonuyla, belli bir sisteme beslenmesine benzer olarak vakumlu bir çekici ile katı parçacıklarının bir gaz akımına yüklenmesi şeklindedir. Bu cihaz malzemenin tam serbest bir akışla ve kolayca akışkanlaşarak besleme yapmasına imkan verir.

Orta basınçlı sistemler besleme cihazının çıkış tarafındaki cihazının 1 bar'dan büyük olduğu sistemlerdir. Oldukça büyük olan basınç farkının yarattığı ve büyüttüğü sızdırmazlık problemi dönel vanalı besleyiciler kullanılarak çözülür. Ancak bu yöntem 50-500 m. arasındaki yani orta mesafeli sistemlere uygundur. Daha büyük mesafeler için özel olarak dizayn edilmiş akışkan katı pompaları kullanılır. Bu pompanın esası özel olarak dizayn edilmiş bir helezon kullanmaya dayanır. Uç kısmı özel bir yapıya sahip olan helezon, bir hücre içinde hareket ederek malzemeyi sıkıştırır ve basınçlı havanın bulunduğu diğer tarafa iter. Bu sistemde kendilerine helezon tarafından ileri doğru bir kuvvet uygulanan tanecikler, kolayca üniform şekilde akışkanlaşırlar. Bakım kolaylığına

sahip olan bu tip yükleyiciler 200 mesh'e kadar olan ince tanecikleri kolayca akışkanlaştırabilirler.

Helezon besleyiciler sürekli besleme sağlarlar. Sakıncaları, güç tüketimlerinin yüksek oluşu ve sürtünme nedeniyle helezon ve gömleklerin çabuk aşınmasıdır.

3000 m.'ye kadar olan uzun mesafelerde pnömatik taşıma çok yüksek hava basınçlarına ve etkili gaz-katı pompalarına ihtiyaç gösterir. Bu sistemlerde katı parçacıkların akışkan içine beslemek yerine akışkanı malzemenin içine göndermek daha iyi sonuç verir. Akışkan malzemenin içine özel olarak dizayn edilmiş tanklar vasıtasıyla verilir. Bu tanklara malzeme alternatif olarak sık sık doldurulur. Daha sonra tankın içine orta basınçlı akışkan uygulanarak malzemenin yarı akışkan hale gelmesi sağlanır. Çıkış noktasına gelen yarı akışkanlaşmış bu tanecikler bu noktada basınç aniden yükseltilerek çıkış hattına gönderilir. Tek bir üfleme tankı kullanılması halinde bunun periyodik olarak kullanılması söz konusudur. İki veya daha çok sayıda tank kullanılması halinde üniform bir akış, otomatik bir besleme gerçekleştirilebilir.

Yüksek basınçlı tesislerde kullanılan bu sistemlere hücreli besleyiciler de denir. Bunlar iki gruba ayrılır. 1- Malzemeyi haznenin dibinden boşaltanlar 2- Malzemeyi haznenin üstünden boşaltanlar. İkinci tip besleyiciler genel boyutları bakımından küçüktür ve bir numaralı sisteme göre daha düzenli bir besleme yaparlar. Besleyici, koni tabanlı silindirik bir kaptır.

Hücreli besleyicilerin helezon besleyicilere göre başlıca üstünlükleri şunlardır. Güç tüketimleri düşüktür. Çabuk aşınan parçalar yoktur. Böylece aşındırıcı malzemeleri taşımaya elverişlidirler. Hücreli besleyicilerin başlıca sakıncaları büyük yükseklikleri ile kesikli çalışmalarıdır. Kesikli çalışma çift hücreli besleyici kullanılarak giderilebilir.

4.2.2) Boru Hatları, Valfler, Debimetreler

Taşıma boruları çeşitli malzemelerden imal edilir. Malzeme seçimi taşınacak malzemenin cinsine uygun yapılmalı ve maliyetler gözönünde bulundurulmalıdır. Giriş noktasından çıkış noktasına kadar borunun yerleştirildiği yol mümkün olduğu kadar düz olmalıdır. Bir kaç yön değişimine izin verilebilir. Bununla birlikte yolun güzergahı çeşitli

engeller çevresinde, altından veya üstünden geçecek şekilde planlanabilir ki bu büyük donanım gerektirir.

Bütün yön değiştirmeler boru çapından 6-12 kere büyük radyuslarla yapılmalıdır. Boru bağlantıları alın kaynağıyla veya malzemenin yapısında bir çatlak olması, hasar görme veya akışın tıkanarak bloke olması durumlarında büyük avantaj sağlayan flanşlarla yapılabilir. Yüksek basınçlı sistemlerde 50-250 mm. arasında değişen çaplardaki dikişsiz çelik borular kullanılır. Alçak ve orta basınç söz konusu olması halinde

1-3 mm. et alınlığındaki daha hafif borular kullanılabilir. Yol değiştirme valfleri pompalama birimini boru kollarından birine bağlar. Bunların dizaynında kullanılan esas kriter akışa engel ve yön değişikliği yapmayan aerodinamik bir geçişin oluşturulmasına çalışmaktır. Çünkü sık sık valfler ve çeşitli çıkış kapılarının önünde malzemenin yığılması söz konusudur. Bu nedenle bunların demontajı kolaylıkla yapılabilecek şekilde dizayn edilmeleri gerekmektedir.

Eğer taşıma sistemi yeterince basitse yön değişiklikleri elle kolayca ve hızla takılıp sökülebilen fleksibil borularla yapılabilir. Bu çıkış siolosunun sık sık değiştirilmesi halinde faydalı olur. Ayrıca oldukça pahalı sistemler olan yön değiştirme valfleri ve kapılardan tasarruf olur. Buna ek olarak valflerin işletme problemleri de önlenmiş olur. Ancak boru bağlantılarının elle takılıp sökülmesi işçilik zaman ve maliyetlerini artırır. Bağlantıların iyi yapılması ve yön seçiminde hata yapılmaması gerekir.

Belirli özel malzemelerin taşınmasına imkan veren donanım ticari olarak imal edilmektedir. Eğer malzeme parçacıkları yapışma veya kümelenme eğilimi gösteriyorsa veya büyük parçacıklar mevcutsa bir dönel kesici bıçak kullanılarak bunların akışkanlaşabilecekleri mertebeye kadar boyutlarının küçültülmeleri gerekir. Taşıma sırasında iki veya daha çok malzemenin karıştırılabilmesi için hattın içinde karıştırıcı ve harmanlayıcılar bulunabilir. Yine malzemenin pnömatik yolla belli bir yerden başka bir yere taşınması sırasında ısıtma, soğutma, kurutma ve kimyasal işlem yapmak mümkündür. Böyle bir işlem sistemi takip eden bir kimyasal işlem için tampon bir reaktör oluşturabilir.

Borudaki katı malzeme debisini ölçmek için birkaç çeşit debi ölçme cihazı geliştirilmiştir. Bu cihazlar $\pm$ % 5 doğrulukla oldukça başarılı olarak kullanılabilirler. Bunlardan biri Peskin tarafından değiştirilmiş bulunan optik elyaf sondadır. Cihaz

malzemenin debisi ile ilgili sinyali 200 mm., çaplı aralarındaki mesafe 0.3 mm. olan optik fiber elyafların arasından geçmesiyle üretir.

4.2.3) Seperatörler

Son çıkış noktasındaki boşalma haznesinde malzemenin taşıyıcı gazdan ayrılması toz problemini azaltmak ve hava kirliliğini önlemek bakımından üzerinde durulması gereken önemli bir noktadır. Ayırma işi için uygulanan en basit çözüm şekli malzeme ile yüklü gazın boşalma silosuna direkt olarak gelip gazın silonun üzerindeki bir menfezden atmosfere doğrudan karışması şeklindedir. Gaz-katı ayırma cihazının dizaynı pnömatik taşınma donanımı imalatında önemli bir konudur. Aşağıda çeşitli yöntemler ele alınmıştır.

Ağırlık Yöntemi : Esas parçacıkların ağırlığının akışkannın özgül ağırlığından farklı olmasına dayanır. 325 mesh'den büyük olan parçacıklar için bu yöntemden faydalanılarak çöktürme odaları kullanılabilir. Odanın girişinden çıkışına kadar oda içindeki ortalama hız $v < 3\text{m/s}$ alınır. Bu sistemin sakıncası temizlemedeki güçlülüktür. Bu sistemle $10\ \mu$ 'a kadar parçacıklar çöktürülebilir.

Siklon Seperatörler : Siklon seperatörler, atalet prensibiyle çalışır. Siklonlar basit dizaynları, düşük enerji tüketimleri, yüksek basınç ve sıcaklıklarda etkili toplama yapabilmesi, kolay temizlenmesi gibi üstünlükleri nedeniyle çok geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Siklonlarda $5\ \mu$ 'dan büyük parçacıkları ayırmak mümkündür.

4.3) ENDÜSTRİYEL UYGULAMALAR

Bugüne kadar pek çok sayıda faydalı pnömatik taşıma sistemi kurulmuş ve bunlar karlı bir biçimde çalışmalarına sürdürmektedirler. Hala çeşitli endüstriyel ticari dergilerde başarılı özel dizaynlardan söz edilmektedir. Pnömatik taşıma sistemleri demiryolu vagonlarından, kamyon kasasından, gemi haznelerinden ve konteynırlardan boşaltma yapma ve bunları doldurma konusunda diğer taşıma sistemlerine göre büyük bir avantaja sahiptir. Bu avantaj özel olarak pnömatik yükleme ve boşaltma için dizayn edilmiş kamyon kasaları ve demiryolu vagonları ile daha da büyütülmüştür. Pratik olarak

akışkanlaşabilir her malzeme pnömatik taşıma ile problemsiz şekilde taşınabilir. Yararlı bir uygulama olarak da ücra yerlerde kasalı kamyon veya demiryolu vagonları ile yapılan taşımacılıkta yükleme ve boşaltmanın kolayca yapılabilmesi için pnömatik taşıma donanımı bunların üstüne portatif veya sürekli olarak yerleştirilir. Yani hava kompresörü, toz tutucular, fleksibil borular taşıtın üstünde mevcuttur. Endüstride pnömatik taşıma sistemlerinin çimento, kum, kömür, posa, mısır, darı, buğday, kağıt, kil, kimyasal maddeler, çeşitli inorganik tuzlar ve daha bir çok malzeme için uygulanması söz konusudur.

Şekerin, yemlik kirecin, talaşın, çimetonun, kömürün, çöpün, alçı taşının, ufalanmış kayaların pnömatik taşınması konusunda yakın zamanlarda yapılmış pek çok yeni tecrübeler mevcuttur.

Son yirmi yılda uygulamayla ilgili pek çok bilgi literatürde yayınlanmıştır. Fakat ticari pnömatik taşıma donanımları imal eden firmalar uygulamayla ilgili büyük bilgiyi özel olarak biriktirmişlerdir. Bununla birlikte katı malzemelerin pnömatik yolla taşınması diğer sistemlere göre büyük avantajlar sağlar.

Yanlış dizayn edilmiş ve kötü işletilen bir gaz taşıma sistemi daima problem yaratma ve maddi zarara sebep olma durumundadır. Buna karşılık doğru ve uygun dizayn edilmiş ve iyi işletilen bir sistemler arızasız ve problemsiz olarak yıllarca karlı ve faydalı biçimde kullanılabilir.

Araştırmalar göstermiştir ki katılar kapsüller içerisine konulup bir boru hattında akışkan tarafından taşınabilir. Bu araştırma kapsüle konulmadıkları takdirde akışkan tarafından zarara uğrayabilecek posta, tahıl, kimyasallar ve diğer maddeleri Kapsül Boru Hattı Sistemleri ile taşımının uygun olabileceğini akla getirmiştir.

Pnömatik kapsül sistemleri, özellikle kısa mesafedeki iki nokta arasında mesaj evraklarını, hassas materyalleri (laboratuvar malzemeleri) taşımak için kullanılır. Hızlı, verimli, emniyetli ve nispeten ucuzdurlar, fakat bu sistemleri işletebilmek için kompresörler bir makina dairesi gerektirir ve biraz gürültülüdürler. Kapsüller, boru çapına yakın çaplarda silindirik yada küresel formda olabilir. Pnömatik kapsül sistemlerinin teknolojik uygunluğu kanıtlanmış olmakla birlikte bu sistemlerin ticari uygunluğunu kalıcı olması sağlamıştır.

5) HASSAS PNÖMATİK TAŞIMA SİSTEMLERİ

5.1) SİSTEMİN GENEL TANIMI

Hassas pnömatik taşıma sistemleri, kullanılagelmiş taşıma sistemleriyle taşındığında hasara uğrayabilecek malzemeleri, amacı itibarıyla hızlilik ve güvenlik gerektiren durumlarda taşımak için kullanılırlar. Sistemler tasarım yöntemleri ve üretim teknolojilerinin ileri olması nedeniyle bilgisayar kontrollü olarak projelendirilirler. Taşınacak malzemelerin bir koruyucu kapsül içerisinde taşınması zorunluluğu vardır. Hassas pnömatik taşıma sistemleri günümüzde bir çok alanda hızlı, güvenli, verimli ve ekonomik olarak kullanılmaktadır. Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de çeşitli yerlerde kullanılan hassas pnömatik taşıma sistemleri görülmektedir.

5.2) ÖRNEK SİSTEMİN İNCELENMESİ

5.2.1) Tanıtım

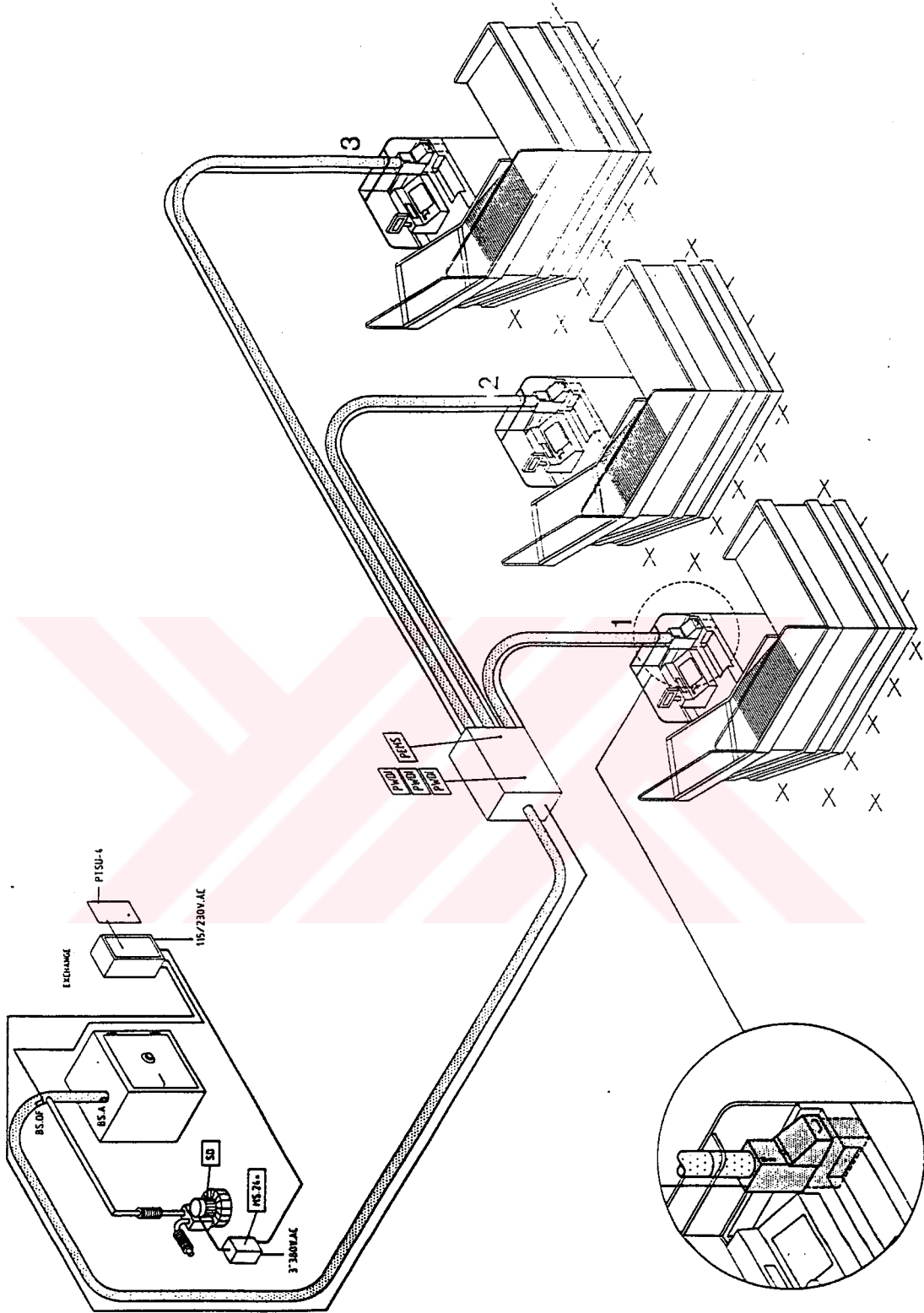
Bu proje, bir hastanenin birçok katının herbirine tıbbi malzeme veya A4 boyutunda rulo haline getirilmiş evrak (max.yük 1kg) içeren silindirik taşıyıcı gönderme kapasitesindeki pnömatik taşıma sistemi tesisatını kapsar.

Sistem, bilgisayar kontrollü olup tek borulu ve çift yönlüdür. Taşıyıcılar bir istasyondan bir diğer istasyona gönderilebilirler.

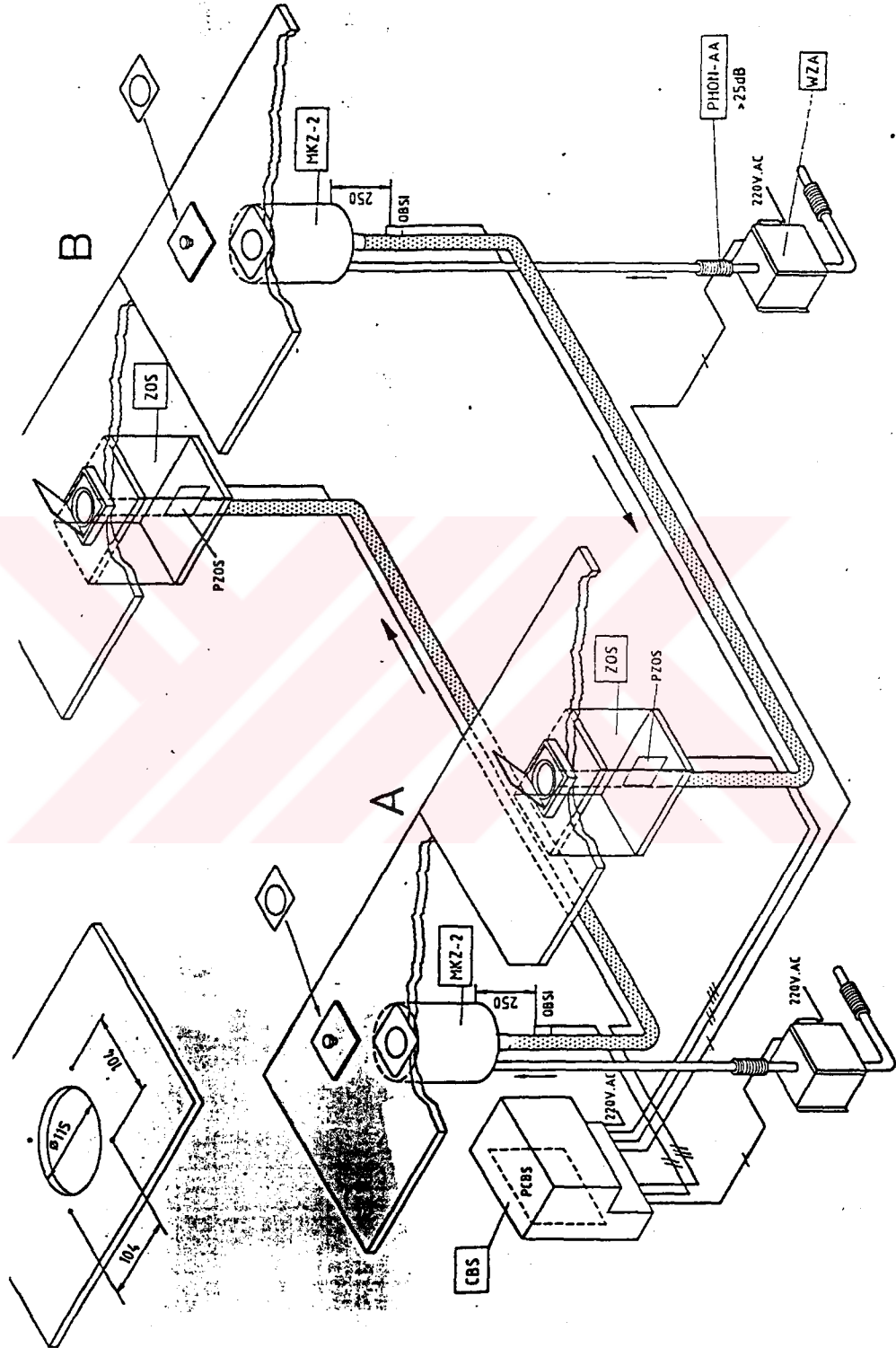
5.2.2) İşletme Prensipleri

Taşıyıcı gönderilecek istasyonların seçimi her bir istasyonun içine yerleştirilmiş klavyeler kullanılarak sağlanır. Ulaşılabilecek adres yönetim sistemine ve bütün trafik kontrol ünitelerine bildirilir.

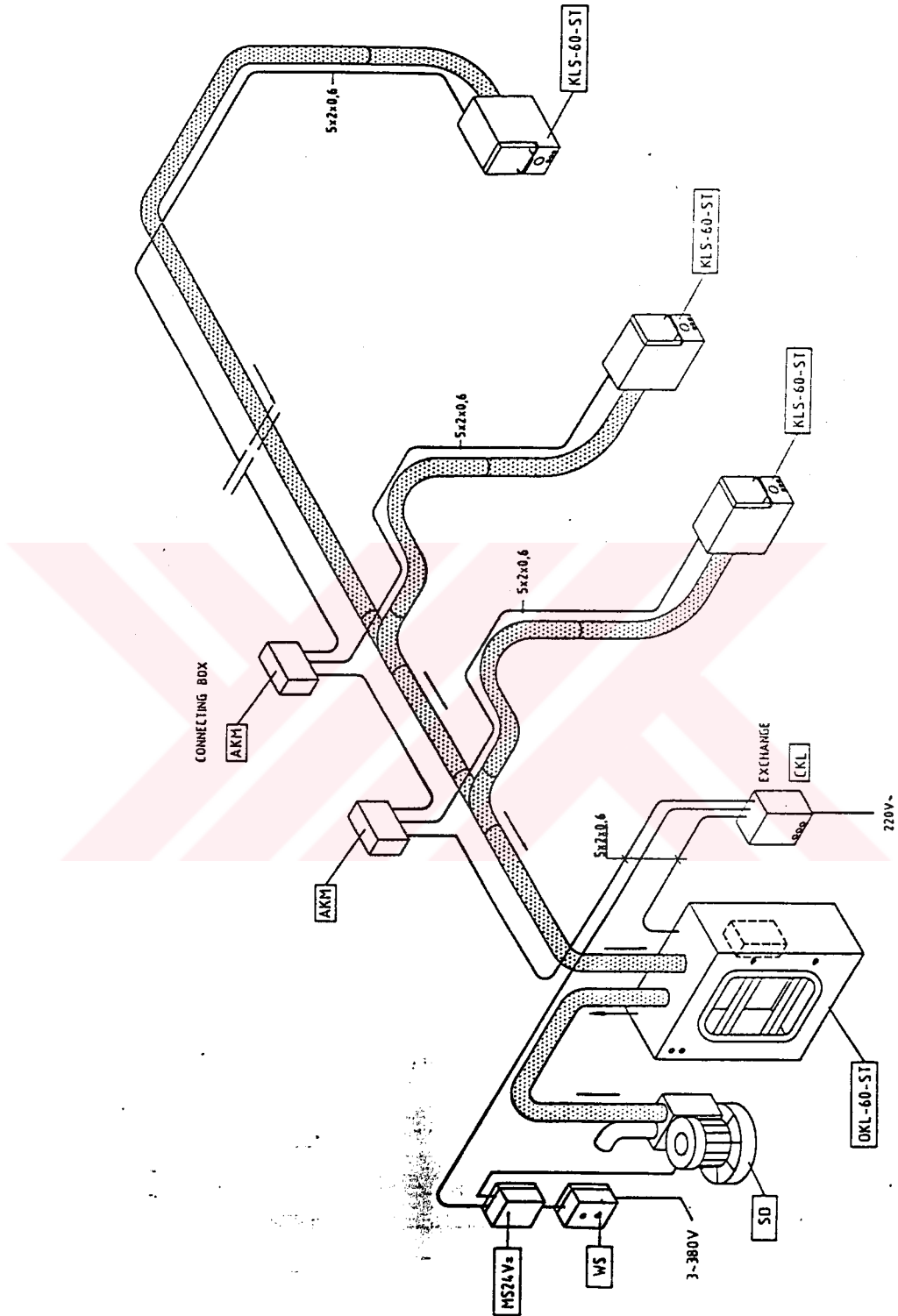
Türbin ve yön değiştiriciler trafik emirlerini işleyen bir mikrobilgisayara bağlanmıştır. Taşıyıcı gönderildiği istasyona ulaştığında indikatör ledleri adresi bildirmek için sinyal verirler. Ek bir uyarı sinyali ilgili personelin alıcısına otomatik olarak gönderilir.



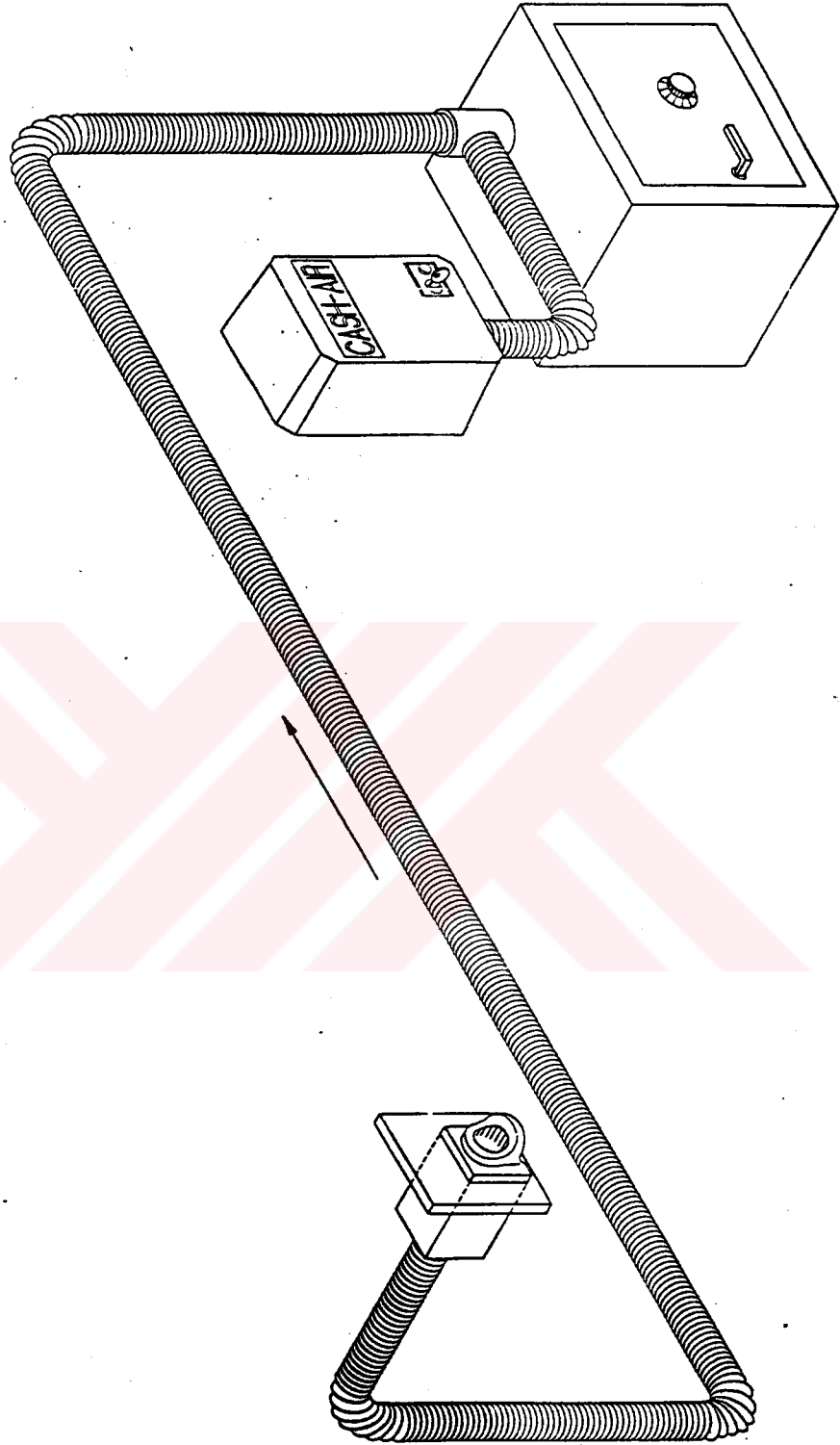
Şekil 5.1 Süpermarketlerde Kullanılan Hassas Pnömatik Taşıma Sistemi
(TELECOM,1996)



Şekil 5.2 Bürolarda Kullanılan Hassas Pnömatik Taşıma Sistemi (TELECOM,1996)



Şekil 5.3 Bankalarda Kullanılan Hassas Pnömatik Taşıma Sistemi (TELECOM,1996)



Şekil 5.4 Bankalarda Kullanılan Hassas Pnömatik Taşıma Sistemi (TELECOM, 1996)

Program sistemi, öncelik durumu aynı olan bir veya birçok istasyona taşıyıcı göndermek veya almak için imkan tanır. Operatörün istasyonundan ayrılması gerektiğinde sistem o istasyondan kabulü iptal etmeye programlanabilir. Böyle bir durumda devre dışı kalan bir istasyona yönlendirilmiş taşıyıcıları başka istasyonlara göndermek mümkündür.

Taşıyıcılar saydam, kırılmaz plastik bir malzemeden darbelere dayanımlı olarak imal edilmişlerdir. Taşıma sistemi, sert PVC borulardan imal edilir.

Herbir istasyon;

- İşletim sistemiyle bağlantılı mikroprosesör,
- Kontrol paneli,
- İstasyona gelen taşıyıcının sesini izole edebilen pnömatik fren sistemi,
- Birbirlerine bağlantılı güvenlik sistemi

ile donatılmıştır.

Yönetim Sistemi :

Sistem elektronik, mikroprosesör temelli bir kontrol sistemiyle yönetilir. Bu sistem sürekli olarak herbir terminal istasyonun hata sinyallerini kontrol eden ünitelere bağlantılıdır. İstasyonlar, yön değiştiriciler, taşıyıcı dedektörleri ve türbin sistem yönetim hafızasına kaydedilmiş tanıtım kodlarına sahiptirler.

Yönetim sistemi, taşıyıcıyı çıkış istasyonundan varış istasyonuna kadar izler. Eğer uçuş süresi limitler içerisindeyse ve taşıyıcı ulaşacağı yere varıyorsa sistem operasyonu hafızaya kaydeder ve hiçbir uyarı sinyali vermez. Sistem kapatma sinyali verdiğinde yönetim sistemi daha fazla taşıma talimatı almayı durdurur. Herhangi bir hattaki istasyon diğer hatlardaki gönderici istasyonlardan seçilebilir.

Program sistemi, hat başına en az 90 adrese kapasite artışı gerektirmeksizin programlanabilecek şekilde dizayn edilmiştir.

Kontrol Sistemi :

Kontrol sistemi, 1'den 5'e kadar bağımsız pnömatik taşıma hattını herbir hat için 100 istasyondan fazlasıyla birlikte kontrol edebilir. Hatlar bir sistem birleştiricisi vasıtasıyla diğerlerine bağlanabilirler. Toplam boru uzunluğu herbir hat için 1000m'den daha fazla olabilir.

Kontrol sistemi ile ilgili temel teknik detaylar :

- Kontrol sistemi kartları 4 sıralı tarzdadır.
- Kontrol sistemi günde 24 saat tam faaliyet durumunda iken yada geriye kalan çalışmama süresinde 300 kB/s'lik bir hızla tüm üniteleri,kartları,kablo v.b. tarar.
- Kontrol sistemi 2 seri girişle sisteme;

1) Bilgisayar

2) Modem

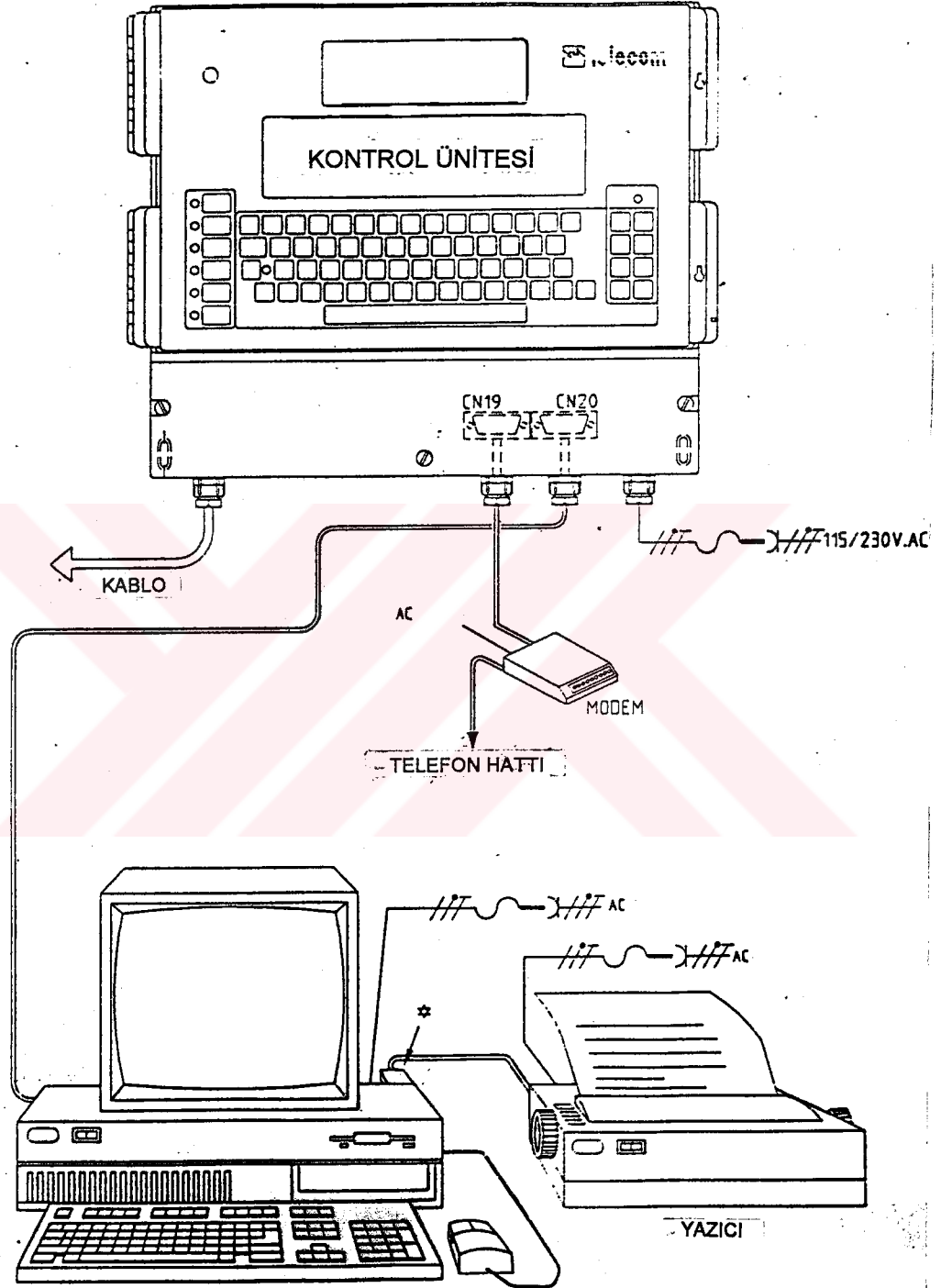
3) Yazıcı

bağlanmasına imkan tanır.

- Kontrol sistemi yangın alarm sistemi için bir kullanılabilir bağlantı girişi içerir.
- Kontrol sistemi birçok yazılım programının aynı anda çalışması anlamına gelen çoklu görev prensibiyle çalışır.

- Kontrol sistemi ile üniteler arasındaki veri hızı yaklaşık olarak 300kB/bit s' dir.
- Yazılım dili olarak uluslararası endüstriyel standartlar (-C-) kullanılır.
- Kontrol sistemi ana hafıza kapasitesi 128 kRam'dir.
- Kontrol sistemi,istasyon ve yön değiştirici kartları prosesör içerirler.
- Kontrol sisteminde yedekleme yapmak için bir lityum batarya bulunur.
- Sistem güç kaynağı 115 / 230 V AC'dir.
- Güç tüketimi 500 W'dır.

Şekil 5.6'da pnömatik taşıma sistemi kontrol ünitesi görülmektedir.



Şekil 5.6 Sistem Kontrol Ünitesi (TELECOM,1996)

Elektronik Kartlar :

Bütün kartlar standart,değiştirilebilir ve hemen hemen bütün ünitelerde aynıtür kartlar bulunur.Herbir yön değıştirici ve istasyon için bir kart mevcuttur.Elektronik kartlar istasyonlarda ve yön değıştiricilerde motorlara bağlanmıştır ve ;

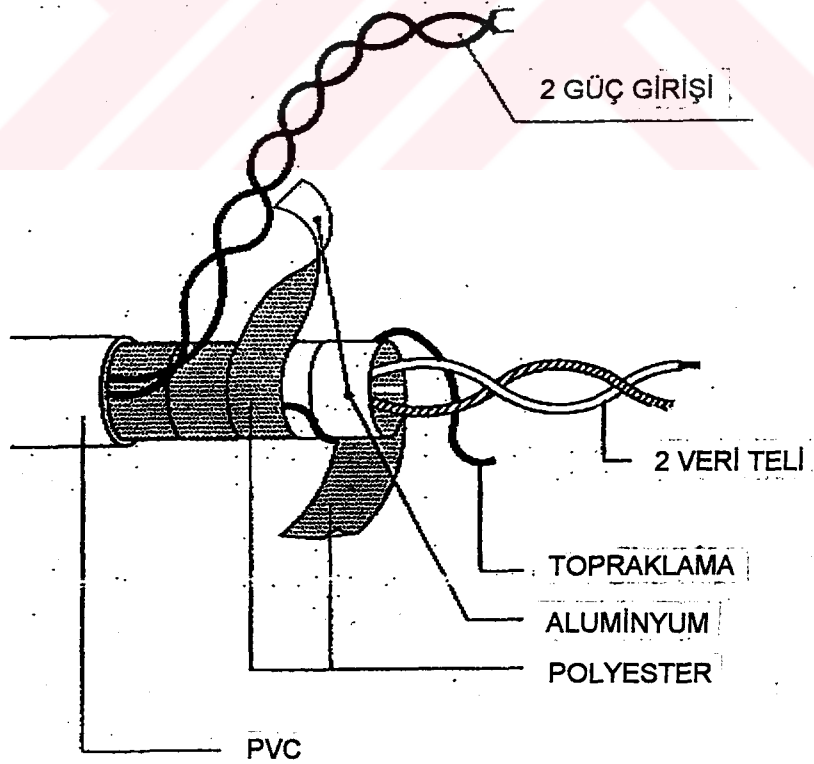
- 1) Motor etkilerine,
 - 2) Yüksek voltaja,
- karşı korunmuşlardır.

Kablo :

Kablo 5 tele sahiptir.

- 2 güç girişı 42V DC
- 1 topraklama
- 2 veri

Şekil 5.7'de sistem kablosu görölmektedir.



Şekil 5.7 Sistem Kablosu (TELECOM,1996)

İstasyonlar :

İstasyonlar, taşımayla ilgili bütün gereksinimleri karşılarlar.Önden yükleme kolaylığı çok çeşitli durumlarda bina içerisine montajına imkan verir.Kağıt parçaları v.b. yabancı cisimler kapılar engel olduğu için istasyon içerisine düşmezler.

İstasyonlar likit kristalli gösterge ve ledler ile donatılmışlardır.Göstergede herbiri 20 karakterli 4 hat bulunur.Gösterge kullanıcıya ;

- Varış veya çıkış istasyonu,
- Bir fonksiyonsuzluk olup olmadığı, test sıraları v.b.

hakkında bilgi verir.

Ledler ise ;

- Taşıyıcının istasyona ulaştığını,
- Hattın boş yada dolu olduğunu,
- Herhangi bir fonksiyonsuzluk olup olmadığını

bildirirler.

İstasyonlar aşağıdan ve yukarıdan gelen taşıyıcıları bir yön değiştirici olmaksızın alabilirler.

İstasyonlar üç bölümden oluşurlar.

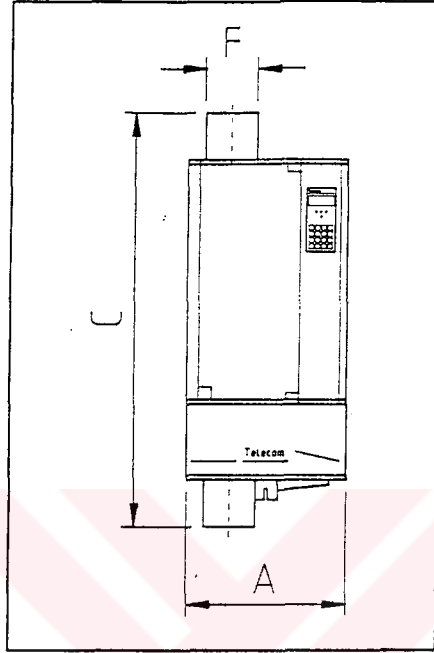
- 1) Yükleme
- 2) Taşıyıcı direkt geçiş
- 3) Frenleme haznesi

Frenleme haznesi taşıyıcı hızını istasyon içerisinde hava ile sıfıra düşürür.İstasyon içinde fonksiyonları bozabilecek valfler yoktur.İstasyon kesinlikle yumuşak frenlemeye izin verir. İstasyonun önemli bir avantajıda taşıyıcının varışı sırasında istasyonun bulunduğu yere havanın hemen hemen hiç gönderilmemesidir.Hava sadece taşıyıcı frenleme haznesi içerisindeyken gönderilir.Böyle durumlarda taşıyıcı hava başka bir bölgeye güvenli olarak yönlendirilebilir.İstasyon içerisinde valf ve mekanik parçalar yoktur.Göstergeye istasyon numarası yazıldığında sesli uyarı cihazı numaraya ulaşıldığını veya neden ulaşamadığını bildirir.Gösterge ayrıca son taşıyıcının nereden geldiğininide gösterir.

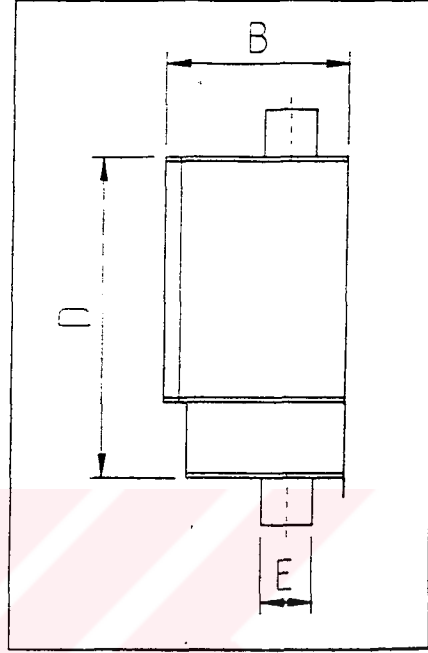
Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da istasyonlar ve boyutları, Şekil 5.11'de ise istasyon hazne pozisyonları görülmektedir.



Şekil 5.8 İstasyon (TELECOM,1996)



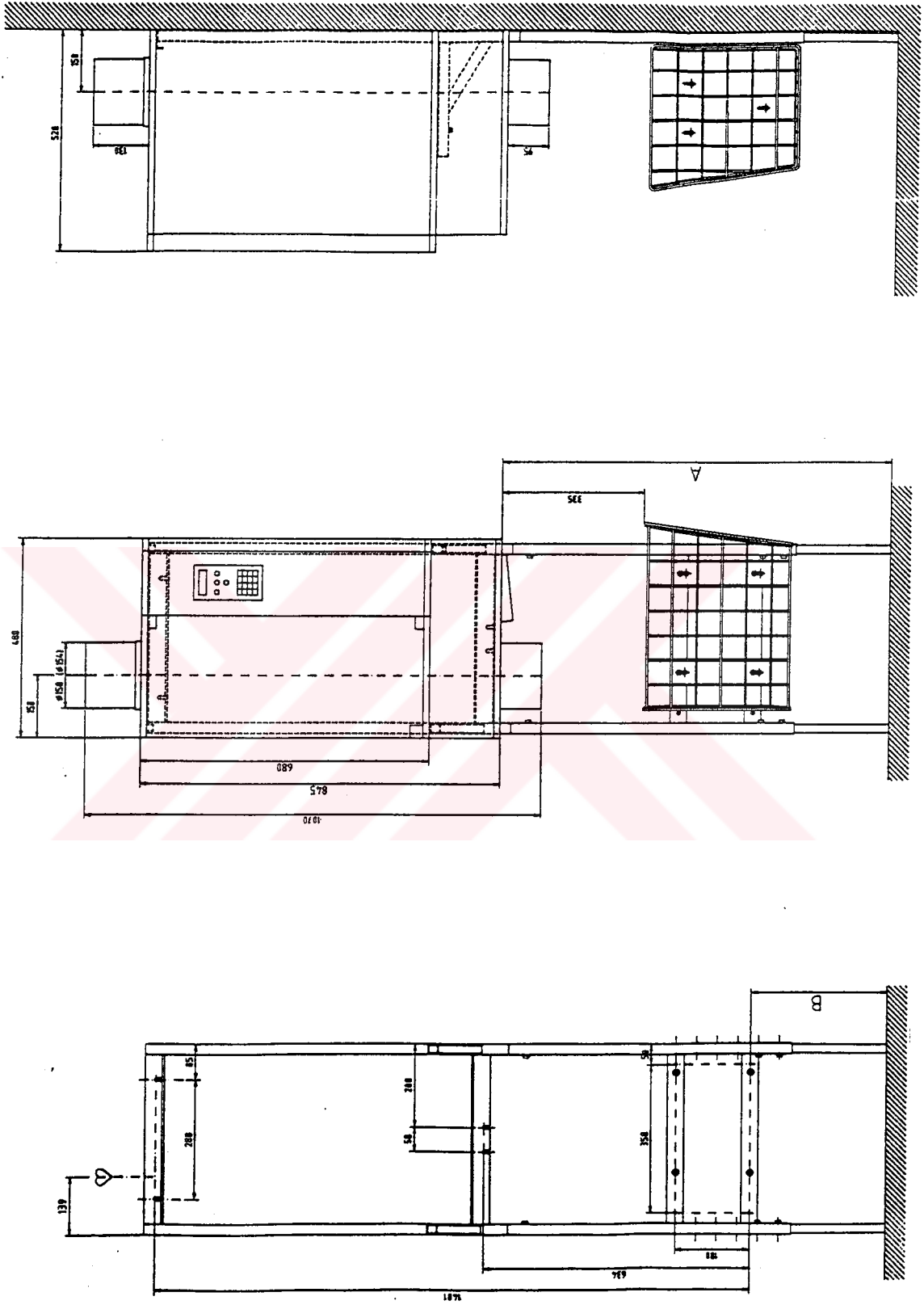
Önden Görünüş



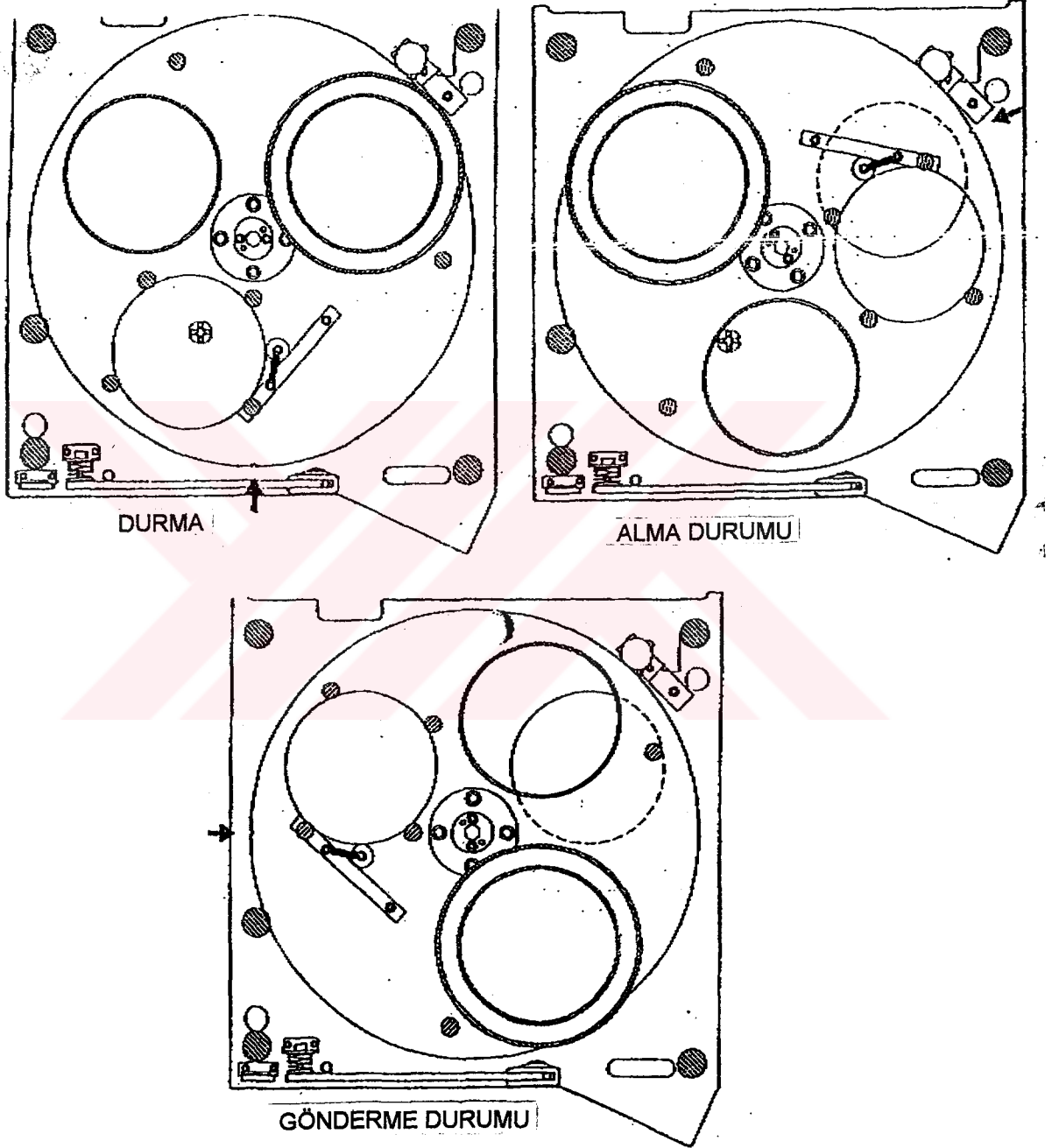
Yandan Görünüş

	75 PVC	90 PVC	100 PVC	100 ALU	110 PVC	110 ALU	124 PVC	124 ALU	154 ALU	160 PVC
A	340	340	340	340	340	340	480	480	480	480
B	388	388	388	388	388	388	528	528	528	528
C	885	885	885	885	885	885	1070	1070	1070	1070
D	680	680	680	680	680	680	845	845	845	845
E	ø70	ø86	ø100	ø100	ø105.4	ø110	ø124	ø124	ø154	ø153.6
F	ø75	ø90	ø108	ø103	ø110	ø107	ø132	ø127	ø158	ø160

Şekil 5.9 İstasyon Boyutları (TELECOM,1996)



Şekil 5.10 İstasyon Boyutları (TELECOM,1996)



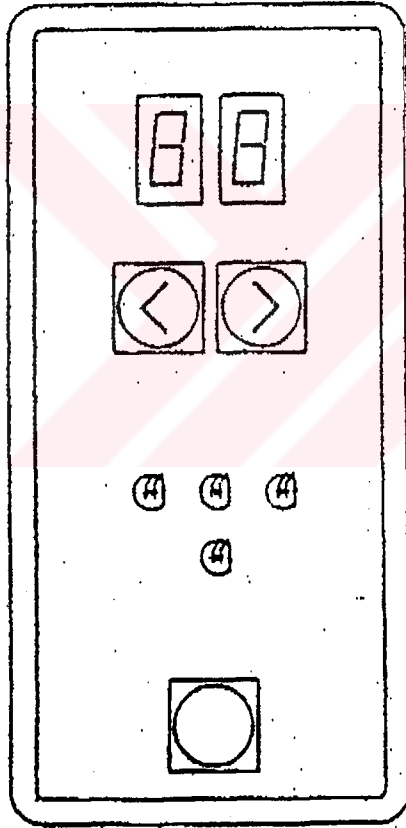
Şekil 5.11 İstasyon Hazne Pozisyonları (TELECOM,1996)

Manuel İstasyon:

Bu istasyon teknik mahalde üfleyici ve kontrol sistemi ile birlikte tasarlanır.İstasyon sistem arızaları durumunda taşıyıcıların geri dönmelerini, programın düzeltilmesinden sonra tekrar istasyonlara ulaşmalarını sağlar.

Şekil 5.12’de manuel istasyon görülmektedir.

SERVİS PANELİ



GÖSTERGE

YUKARI-AŞAĞI DÜĞMELERİ

İNDİKATÖR LEDLERİ

BAŞLATMA DÜĞMESİ

Şekil 5.12 Manuel İstasyon (TELECOM,1996)

Yön Değiştiriciler :

Yön değiştiriciler 3 veya 6 yollu olarak dizayn edilirler. 3 yollu yön değiştiricide 1 giriş, 3 çıkış yolu, 6 yollu yön değiştiricide 1 giriş, 6 çıkış yolu vardır. Montaj pozisyonları düşey yada yatay olabilir. Giriş ve çıkış yolları arasındaki bağlantı tek parça kavisli bir borudur. Bağlantı contası %100 hava sızdırmazlığı sağlayan teflondan yapılmıştır.

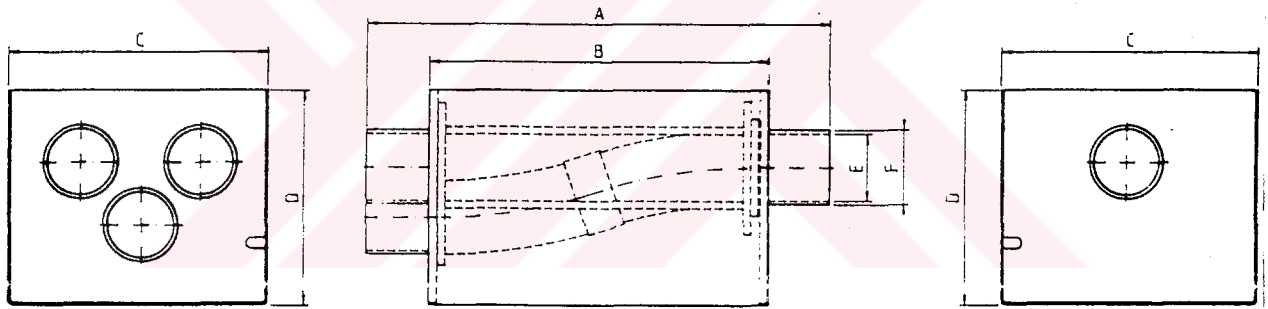
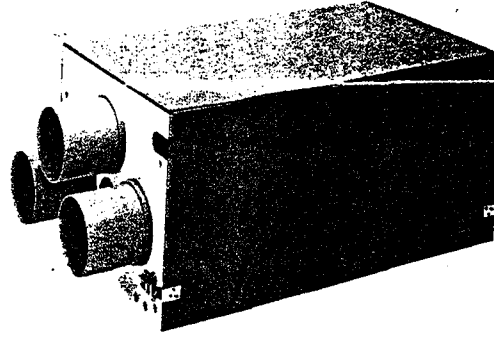
Şekil 5.13'de 3 yollu, Şekil 5.15'de 6 yollu yön değiştiriciler, Şekil 5.14 ve Şekil 5.16'da ise yön değiştiricilerin boyutları görülmektedir.

Optik Anahtar :

Bütün anahtar fonksiyonları mekanik olmayıp, elektrikli dir. 5 alıcı ve 1 gönderici ile donatılmış optik anahtarların en büyük avantajı en küçük objeleri (kağıt parçası) veya şeffaf objeleri görebilir olmalarıdır.

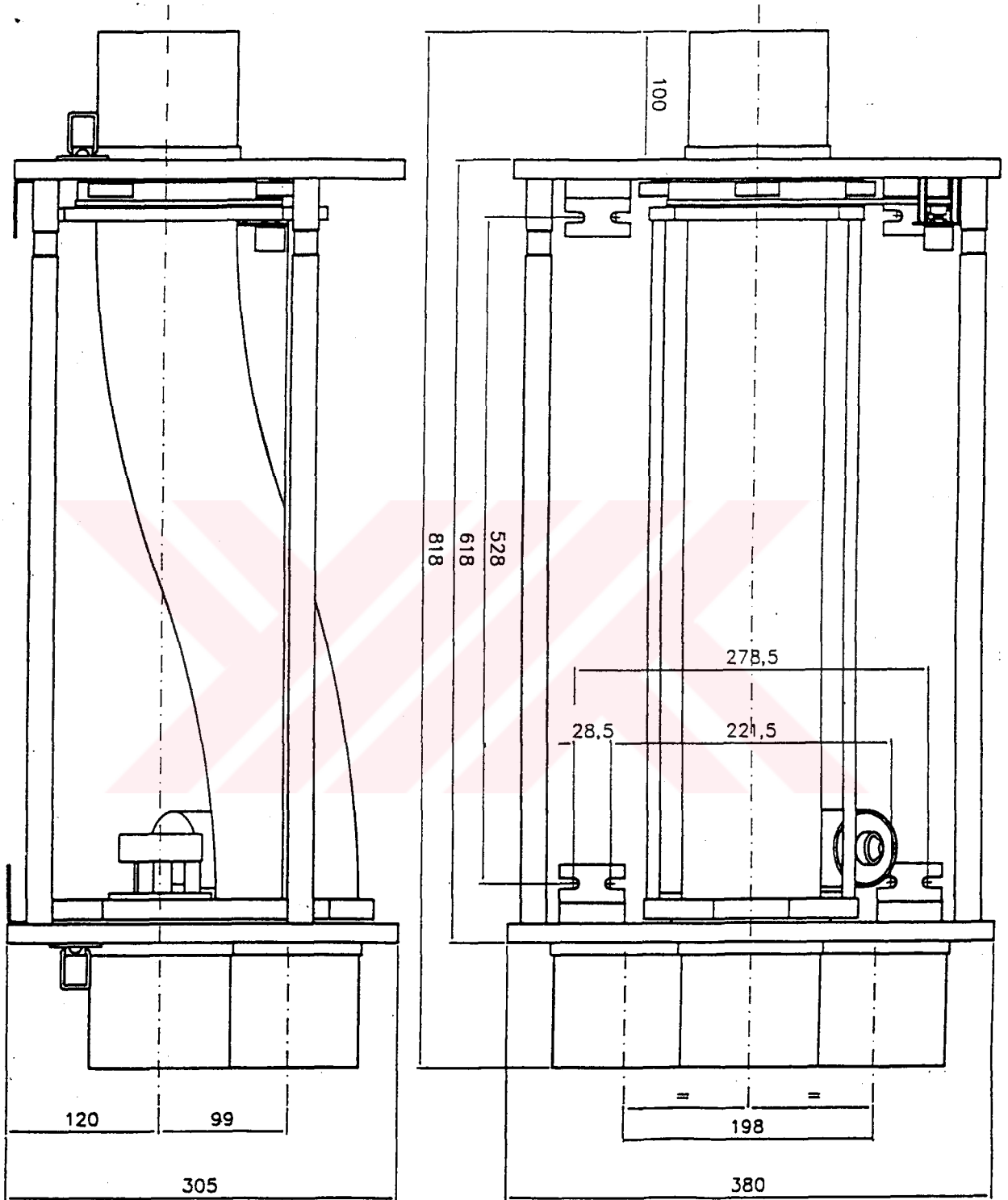
Güç Kaynağı :

Normalde her 10 veya 20 ünite için 1 adet olup, istasyon ve yön değiştirici motorları için sistem kablosuna 42V zayıf akım verir. Sistem kablosuyla sisteme seri olarak bağlanır.

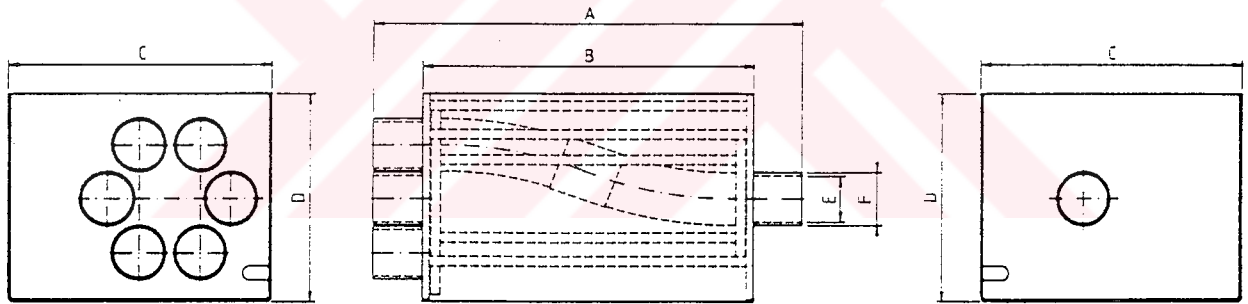
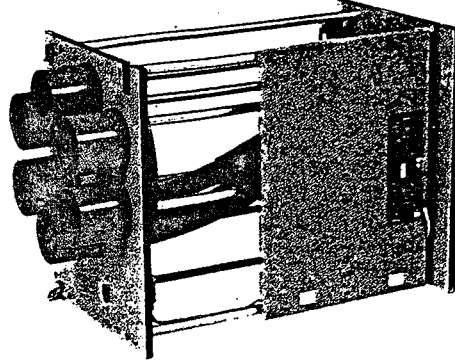


NW (mm)	75 PVC	90 PVC	100 PVC	100 ALU	110 PVC	110 ALU	124 PVC	124 ALU	154 ALU	160 PVC	200 PVC
A	818	818	818	886	818	886	1102	1128	1128	1102	1281
B	618	618	618	686	618	686	878	878	878	878	901
C	380	380	380	393	380	393	500	515	515	500	680
D	305	305	305	313	305	313	400	405	405	400	580
E	ø70	ø86	ø100	ø100	ø105.4	ø110	ø124	ø124	ø154	ø153.6	ø192
F	ø75	ø90	ø108	ø103	ø110	ø113	ø132	ø127	ø158	ø160	ø200

Şekil 5.13 3 Yollu Yön Değiştirici (TELECOM,1996)

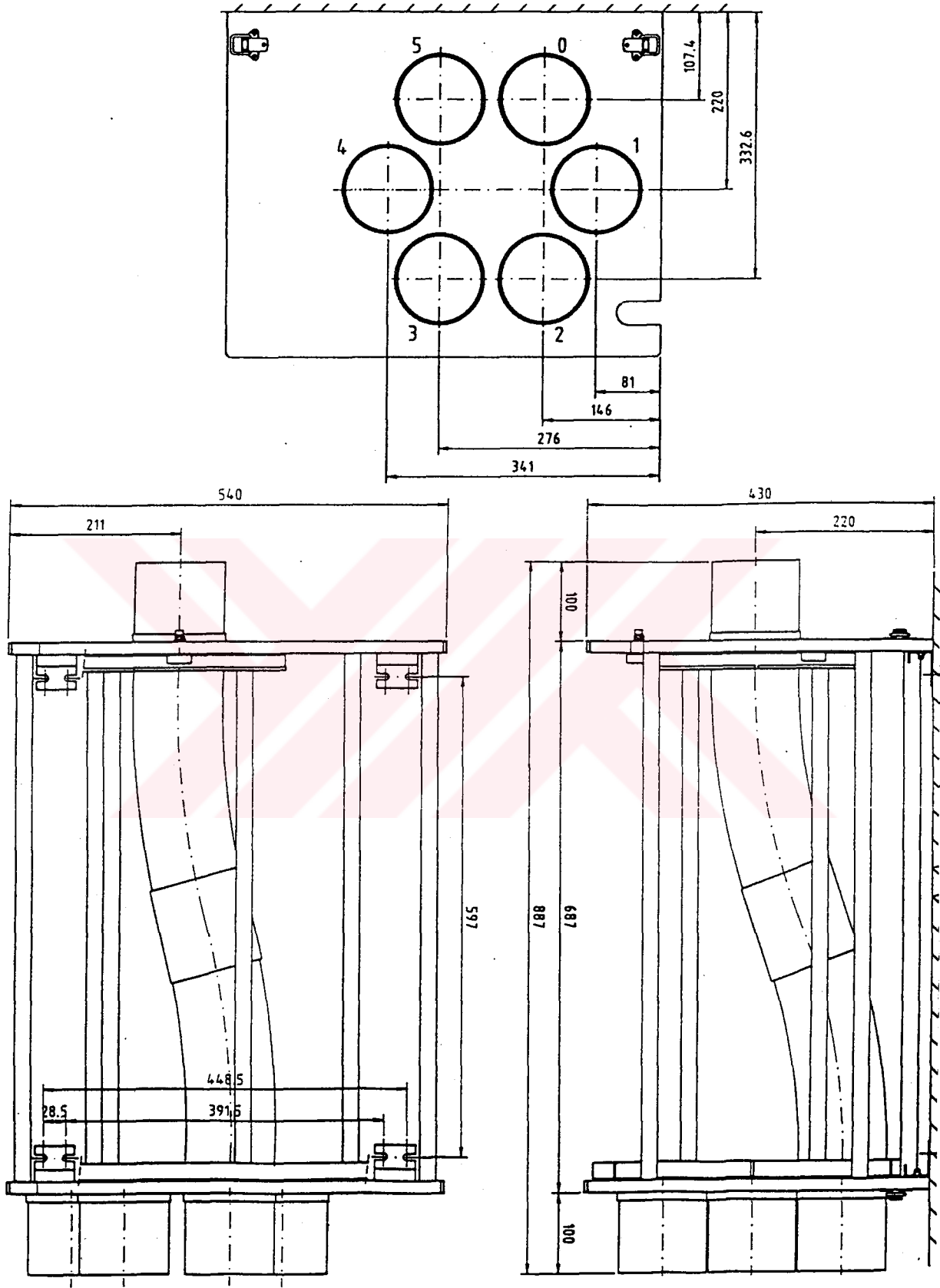


Şekil 5.14 3 Yollu Yön Değiştirici Boyutları (TELECOM,1996)



NW (mm)	100 PVC	100 ALU	110 PVC	110 ALU	124 PVC	124 ALU	154 ALU	160 PVC
A	887	948	887	948	1401	1261	1261	1401
B	687	748	687	748	1021	1021	1021	1021
C	540	540	540	540	710	710	710	710
D	430	430	430	430	610	610	610	610
E	ø100	ø100	ø105.4	ø110	ø124	ø124	ø154	ø153.6
F	ø108	ø103	ø110	ø113	ø132	ø127	ø158	ø160

Şekil 5.15 6 Yollu Yön Değiştirici (TELECOM,1996)



Şekil 5.16 6 Yollu Yön Değiştirici Boyutları (TELECOM,1996)

Üfleyici :

Sisteme uygun şartlarda taşıma havası sağlar.Genel özellikleri ;

- 220/380 V - 50 Hz - 2400 W
- Debi : 3.5 / 4.6 m³/dk.
- Max.Bas.Basıncı : 170 / 300 mbar
- Max.Em.Basıncı : 170 / 250 mbar
- Nominal Basınç : 50 mbar
- Güç Tüketimi : 1.3 / 2.6 kW
- Gürültü Sev. : 70 / 75 dBA

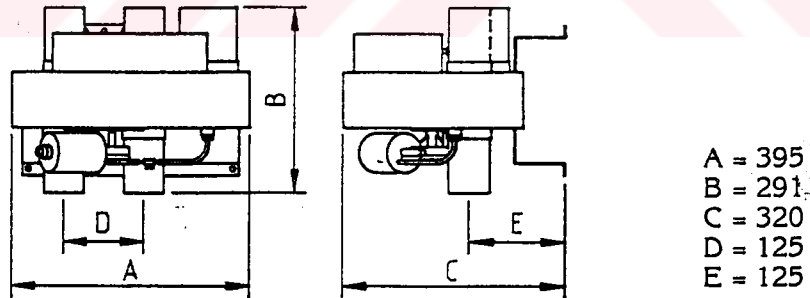
Üfleyici 6.14 / 7.5 m/s hava hızı sağlar.Hız taşıyıcı ağırlığı, hat uzunluğu, yatay veya düşey taşıma durumlarına bağlı olarak 1 m/s'nin altına kadar düşebilir.

Şekil 5.18'de üfleyici yerleşimi, Şekil 5.19'da üfleyici teknik bilgileri veŞekil 5.20'de üfleyici boyutları gösterilmiştir.

Çok Pozisyonlu Valf :

Bu ünite konum değiştiren bir valf vasıtasıyla hava çıkışını yönetir.Hava akış yönü üfleyicinin yönü değiştirilmeksizin emişten üflemeye çevrilebilir.

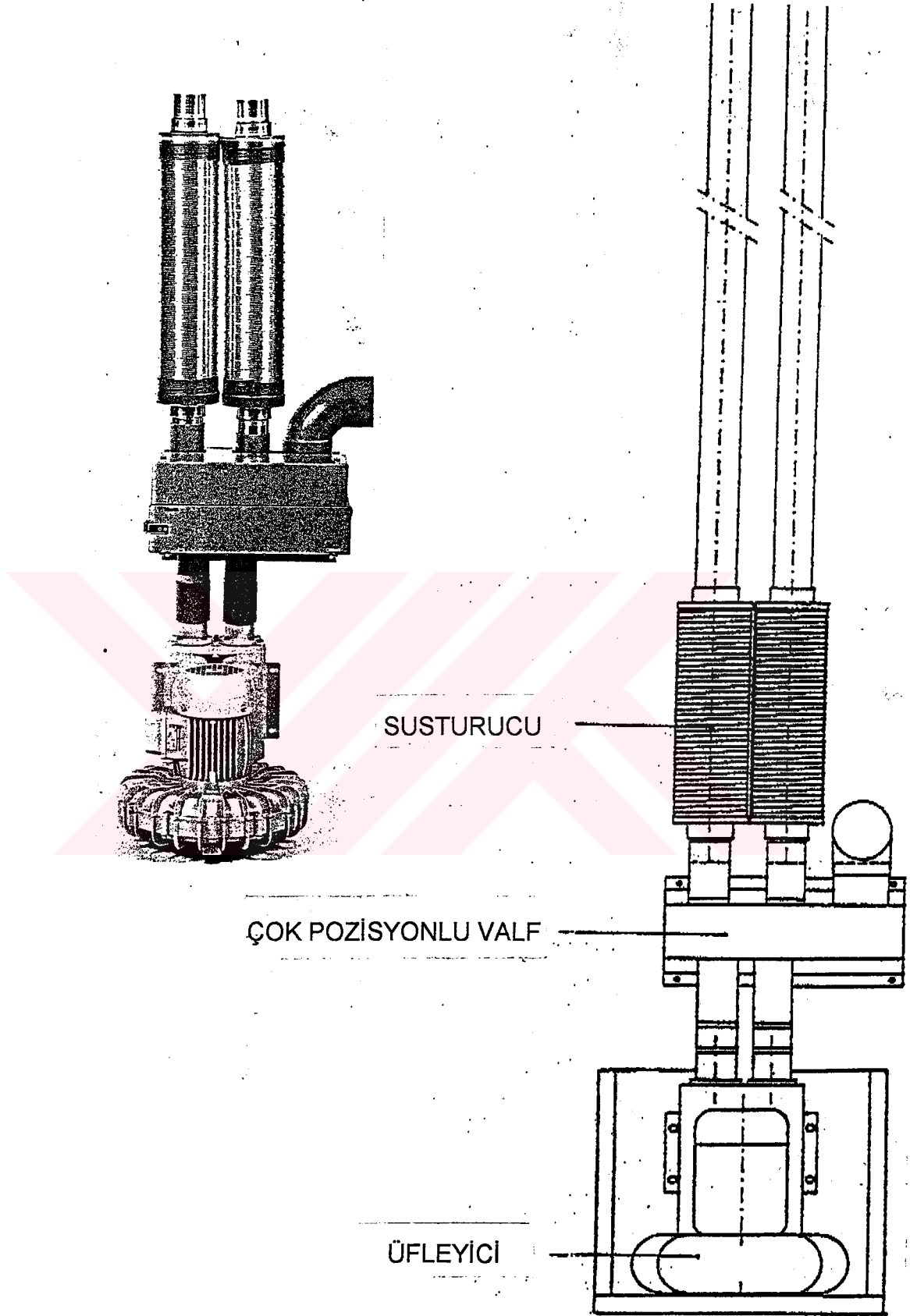
Şekil 5.17 ve Şekil 5.21'de çok pozisyonlu valfler görülmektedir.



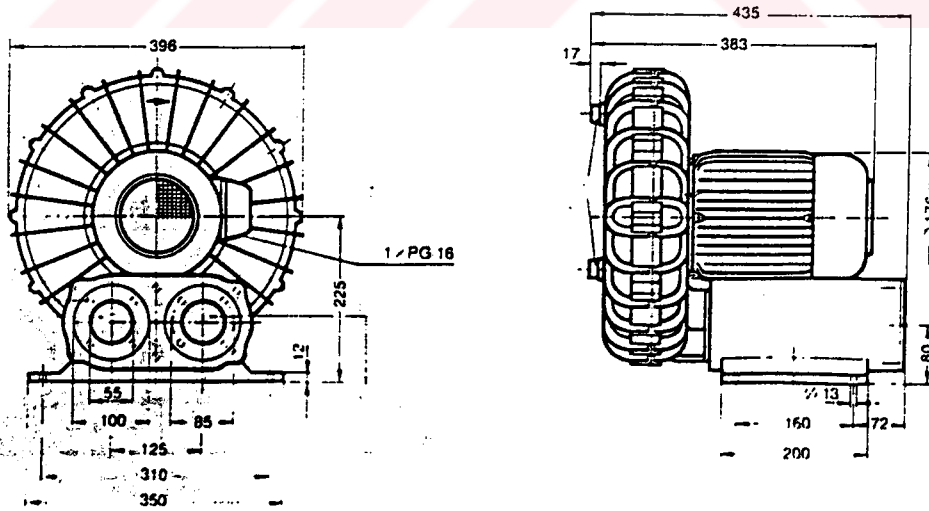
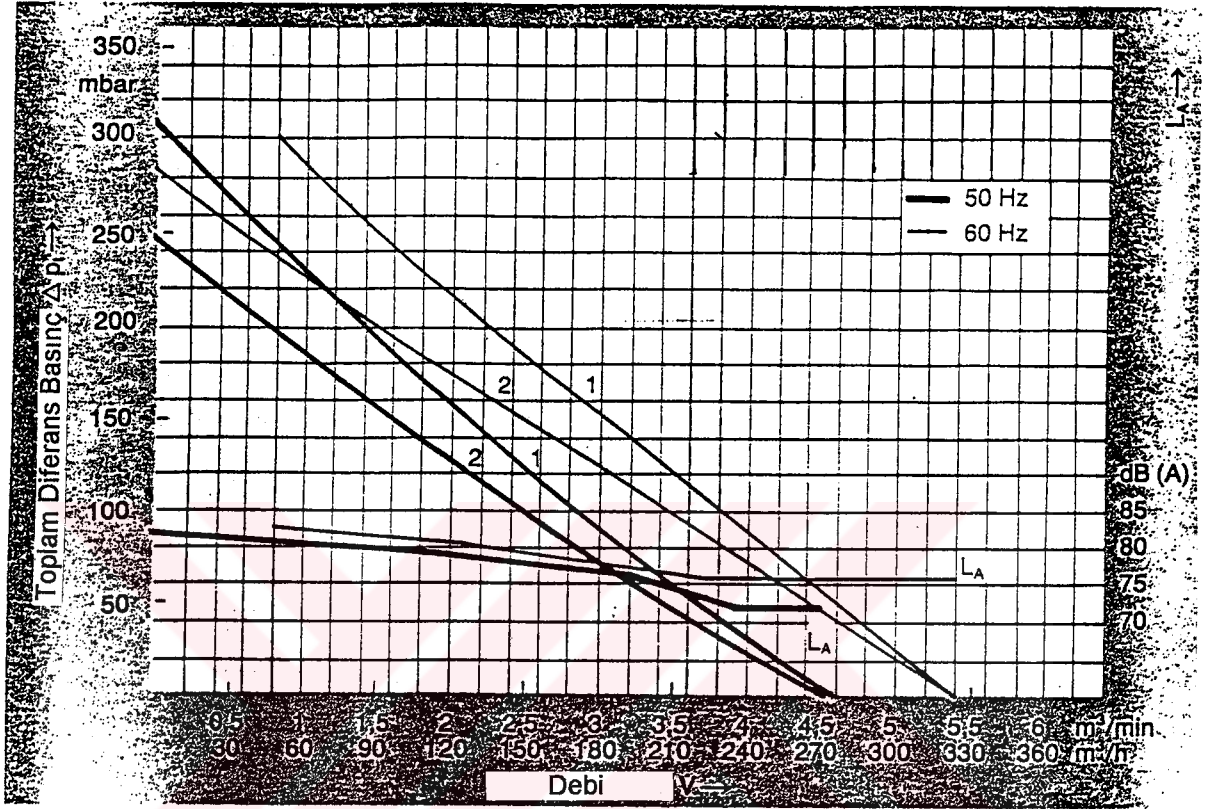
Şekil 5.17 Çok Pozisyonlu Valf (TELECOM,1996)

Frenleme ve Susturucu Sistemi :

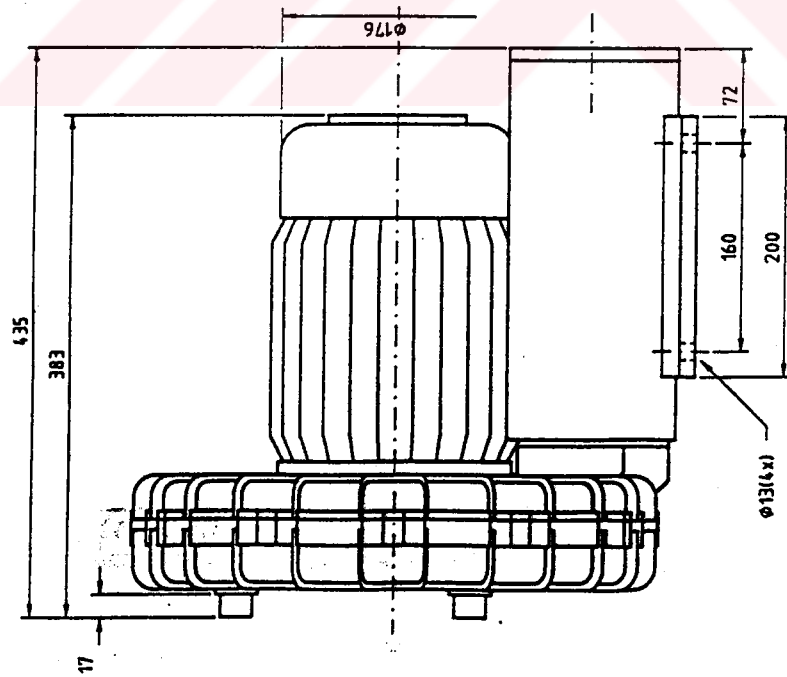
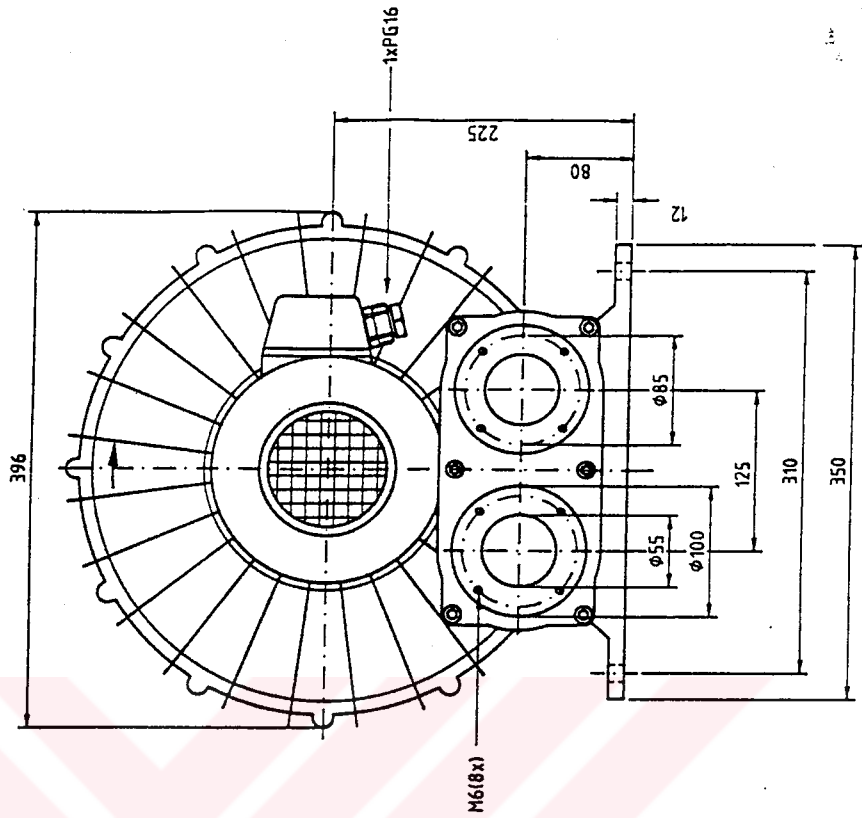
Frenleme sistemi, taşıyıcıların üfleyiciye emilmesini önlemek için birinci yön değiştirici ile üfleyici arasına yerleştirilirler.Susturucu sisteminin kullanımıyla boru içerisinde hava hareketi ile oluşan gürültünün seviyesi 25 dBA'e kadar düşürülebilir.Şekil 5.22'de frenleme sistemi görülmektedir.



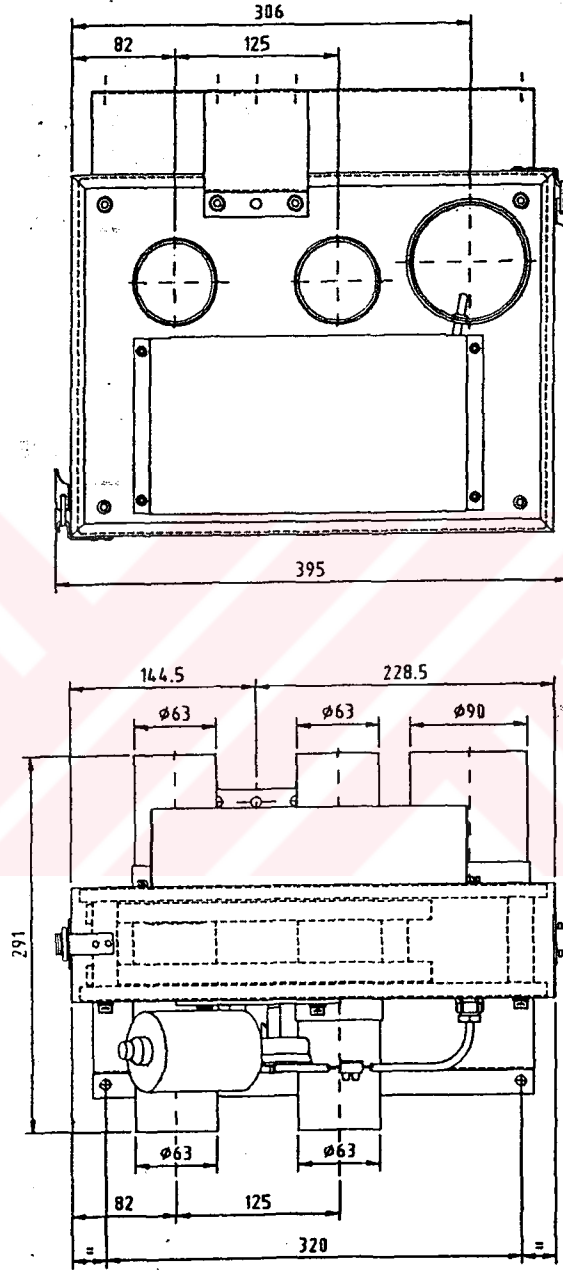
Şekil 5.18 Üfleyici, Çok Pozisyonlu Valf ve Susturucu (TELECOM,1996)



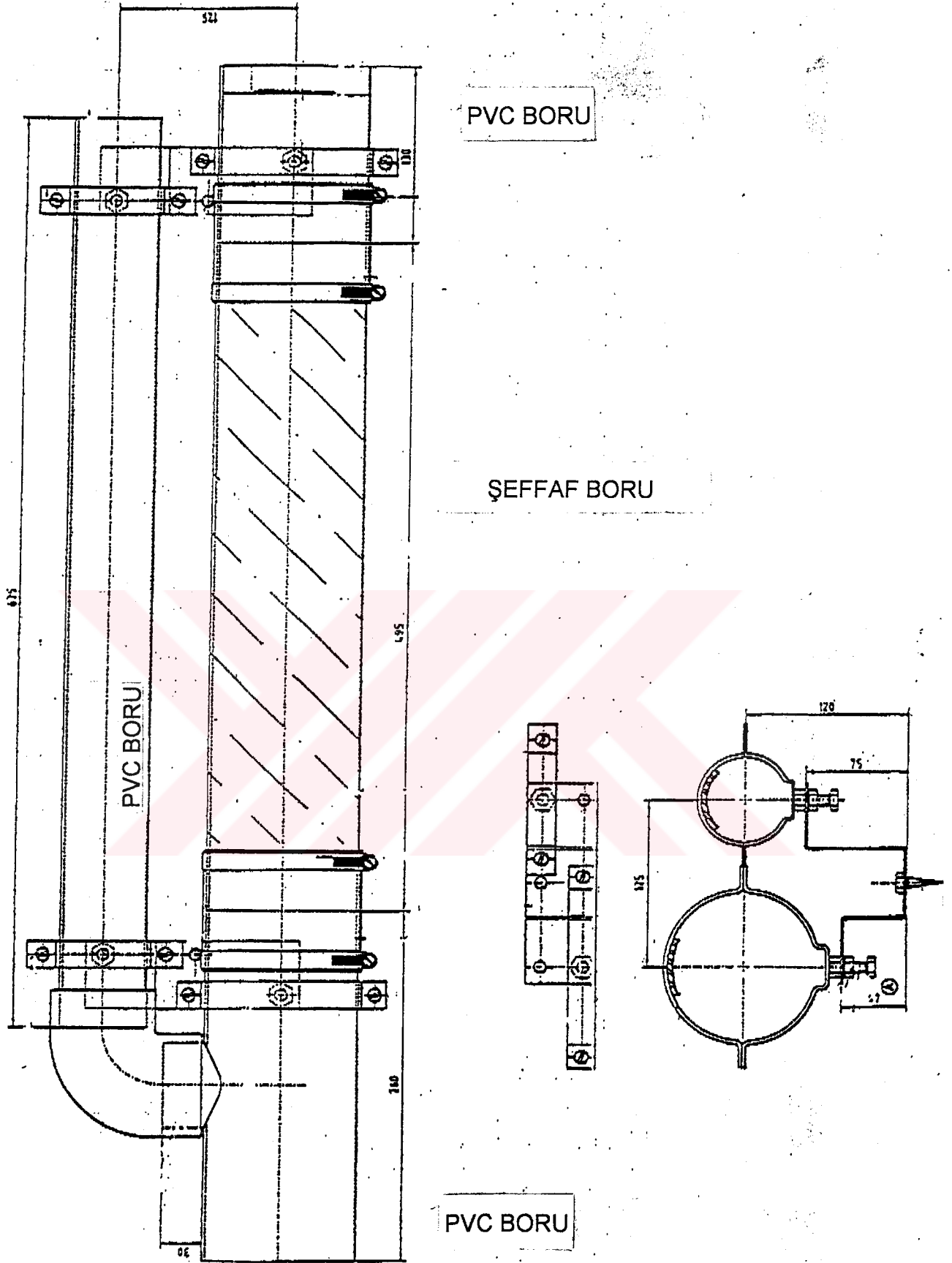
Şekil 5.19 Üfleyici ile İlgili Teknik Bilgiler (TELECOM,1996)



Şekil 5.20 Üfleyici Boyutları (TELECOM,1996)



Şekil 5.21 Çok Pozisyonlu Valf Boyutları (TELECOM,1996)



Şekil 5.22 Frenleme Sistemi (TELECOM,1996)

Taşıma Boruları ve Dönüş Tesisatı :

Boru ve dönüşler 2.3 mm PVC'den 110 mm dış çaplı olarak üretilmişlerdir. Dönüşler 650-800 mm yarıçapındadır.

Fiziksel özellikler :

- Özgül ağırlık : 1.4 gr/cm^3
- Çekme dayanımı : 55 N/mm^2
- Elastisite modülü : 3000 N/mm^2
- Basınç dayanımı : $850\text{-}950 \text{ kg/cm}^2$
- 20°C 'de dayanım : 20°C dağılma yok
- Brinell sertlik derecesi : $1100\text{-}1300 \text{ kg/m}^2$
- Su emme : 24 h'de %0.03
- Isıl genleşme : $0.08 \text{ mm/}^\circ\text{C}$
- Isı iletkenliği : 0.16 W/mk
- Form koruma : 60°C 'a kadar
- Tutuşma derecesi : Zor tutuşabilir, B1 sınıfı

Elektriksel özellikler :

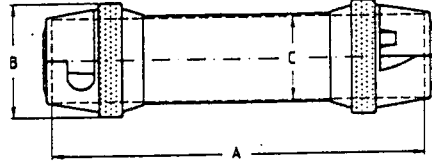
- Geçme direnci : $10, 13, 16 \text{ Ohm/cm}$
- Yüzey direnci : 10^{13} Ohm
- Elektrik geçirmeme sabitliği : 40 kW/mm

Taşıyıcılar :

Taşıyıcılar kalıplanmış PVC'den yapılmıştır. İki tarafında döner kapak bulunan, şeffaf macrolon gövdeye sahiptirler. Pratik olarak kırılmazlar (sadece büyük kuvvetler uygulandığında kırılabilirler). Birçok çap ve boyutta imal edilirler.

Gürültü Seviyeleri :

- Borular içerisinden bir taşıyıcının geçmesi : 30 dBA
- İstasyon veya yön değiştirici içerisinden bir taşıyıcı geçmesi : 35 dBA
- Bir yön değiştirme fonksiyonunda : 49 dBA
- İstasyondan gönderme ve taşıma sırasında : 49 dBA
- İstasyona varış, istasyon boyunca ve taşıyıcının sepete düşüşünde : 55 dBA



Bütün boyutlar mm'dir.

A	B	C
230	56	36
250	85	58
334	85	58
230	97	76
230	97	76
235	105	85
375	105	75
235	105	85
343	105	85
220	105	85
330	105	75
230	103	80
173	103	86
109	104	90
350	123	90
420	123	90
352	155	120
442	155	120
350	151	116
420	51	116
360	189	152
430	189	152

Şekil 5.23 Taşıyıcı (TELECOM,1996)

5.2.3) Hesaplamalar

Sistem Kapasitesinin Hesaplanması :

Buradaki ana fikir, frekans kapasitesinin anlaşılması için yardımcı olacak teorik bir yaklaşımla ilgili bazı hesaplamaları göstermektir.

Bir günde 2000 / 2500 taşıma, yoğun zamanlarda saatte 200 taşıma olduğunu kabul edelim. Ortalama uçuş uzaklığını 100 m olarak alırsak;

$$200 \text{ taşıma} \times 100 \text{ m} = 20000 \text{ m.} \quad \text{Ortalama hız} = 5 \text{ m/s alınırsa,}$$

$$20000 \text{ m} : 5 \text{ m/s} = 4000 \text{ s.} \quad 4000 \text{ s} = 1.1 \text{ h} = \%110 \text{ faal}$$

Bir taşıma için harcanan süre 5 s ise,

$$3600 + (200 \times 5) = 4600 \text{ s} \quad 4600 \text{ s} : 60 = 1.28 \text{ h} = \%130 \text{ faal}$$

3 sistemin bulunduğu düşünülerek, $\%130 : 3 = \%43 \text{ faal}$

SONUÇLAR

Günümüzün önemli ihtiyaçlarından biri olan malzemelerin taşınması, gelecekte de dikkatle üzerinde durulması gereken, yeni teknolojilere ve dizaynlara ihtiyaç gösteren konulardan birisidir. Özellikle iletişim teknolojilerinin hızla gelişmesi insanları yüksek tempolu bir hayatın içerisinde bırakmıştır. Ele alınan konunun en önemli yanı sıra teknolojik gelişme bakımından önemli bir safhayı oluşturmasıdır.

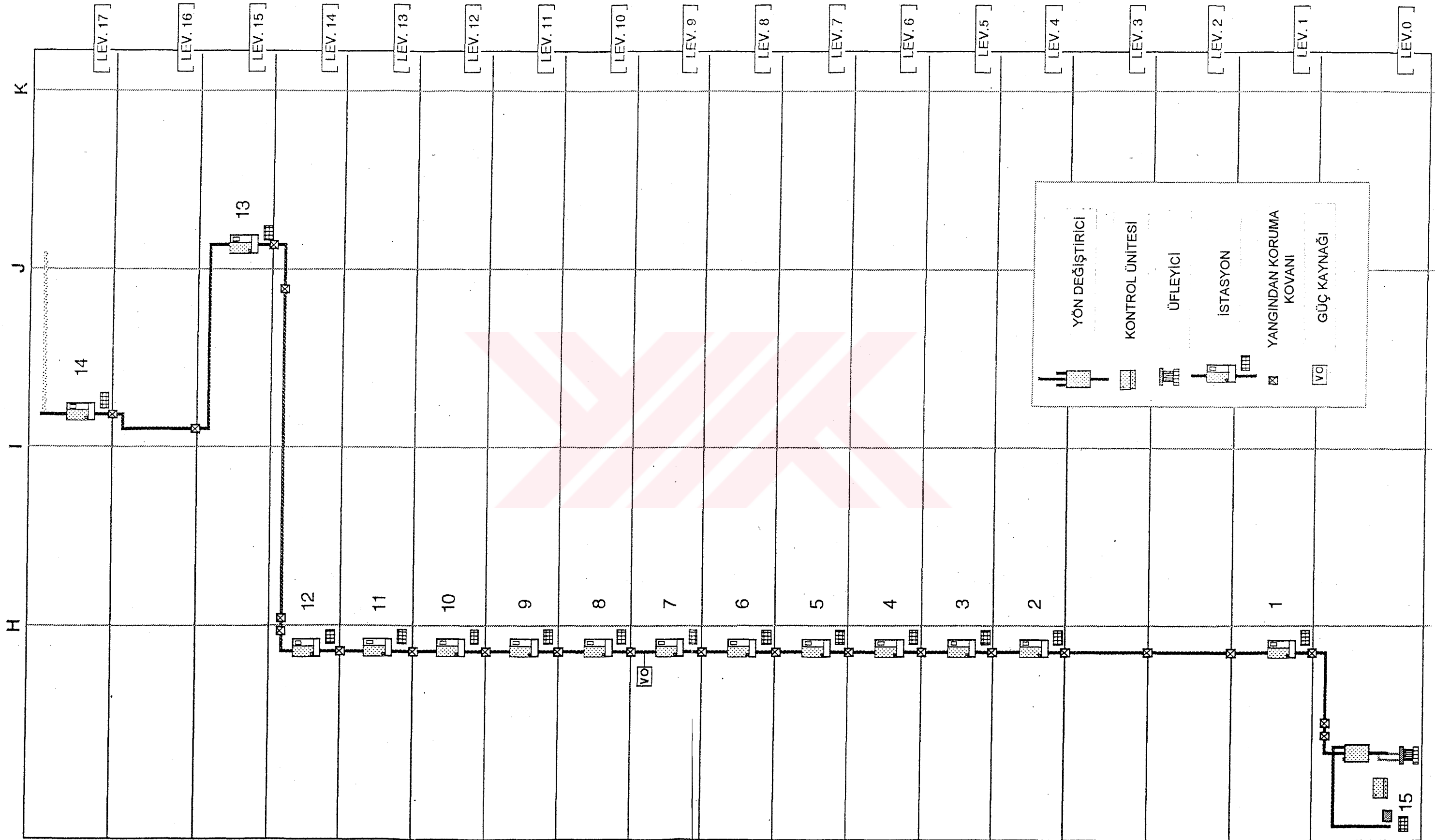
Pnömatik taşıma sistemlerinin her türlü probleme cevap verebilmesi için bilgi birikiminin daha güncel hale getirilmesi gereklidir. Sınırlı deneysel tecrübelerle dayanarak yapılan dizaynlar bu konuda ancak bir ilk adım teşkil edebilirler. Yapılacak daha kapsamlı akademik çalışmalarla pratik uygulamaların daha başarılı sonuçlar vermesi sağlanabilecektir. Sadece teori ve uygulama olarak değil diğer temel bilimler ve ileri teknolojilerle bu çalışmaların desteklenmesi gerekir.

Pnömatik taşıma sistemlerinin daha yaygın kullanımı ile zamandan tasarruf edilebilecektir. Çünkü pnömatik sistemler diğer taşıma sistemlerine göre daha hızlı dizayn edilmekle kalmayıp işletme masraflarının düşüklüğü nedeniyle nispeten finansal açıdanda uygun sistemlerdir. Verimli ve güvenli oluşlarında bir artı değer olarak kaydedilmelidir.

KAYNAKLAR

1. - Andersen, B.W. ,1967. The analysis and design of pneumatic systems, John Wiley & Sons, New York.
2. - Kraus, M.N. , Pneumatic conveying of bulk materials, Mc Graw-Hill Publications Co., New York.
3. - Marchello, J.M. , Gomezplata, A. , 1976. Gas-Solids handling in the process industries, Marcel Dekker, Inc.,New York.
4. - Wright, P.H., Ashford,N.J., 1989. Transportation engineering, John Wiley & Sons,New York.
5. - TELECOM B.V.B.A. Kataloğu, 1996.





ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 05.02.1969

Doğum Yeri : Bingöl

İlkokul : Atatürk İlkokulu, Elazığ, 1974-1979

Ortaokul : Atatürk Ortaokulu, Elazığ, 1979-1982

Lise : Elazığ Lisesi, Elazığ, 1982-1985

Lisans : Y.T.Ü Makina Fakültesi Mak. Müh. Böl. Enerji Mak. 1987-1992

